

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

**ESTIMACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO Y EVALUACIÓN DE
LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA LA MARQUESA
CANTON COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

OSCAR JAVIER SANDOVAL TUQUERRES

cerebrocota@hotmail.com

DIRECTOR: Msc. LUIS ANGEL JARAMILLO SANCHEZ

Luis.jaramillo@epn.edu.ec

Quito, julio 2020

DECLARACIÓN

Yo, Oscar Javier Sandoval Tuquerres, de forma libre y voluntaria declaro en juramento la responsabilidad de la presente tesis y que la misma no ha sido presentada en ninguna calificación profesional o grado y todas las referencias bibliográficas han sido consultadas por mi persona.

OSCAR JAVIER SANDOVAL TUQUERRES

CERTIFICACIÓN

Autentico que la presente tesis fue desarrollada por Oscar Javier Sandoval Tuquerres, bajo mi revisión.

Msc. Luis Jaramillo Sánchez
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A los DIOSES

A mis padres, Fausto y Consuelo por todo lo que han hecho por mí incondicionalmente, demostrándome día a día con su esfuerzo y sacrificio cuanto me quieren, el valor de la disciplina y la constancia para alcanzar cualquier sueño propuesto, haberme traído al mundo y criado de una forma libre y generosa en todos los momentos de mi vida, permitiéndome ser la persona quien soy, gracias infinitamente.

A mis hermanos mayores, Jenny y Diego y sus familias complementado mi crecimiento y mi vida, gracias por ser cada uno como son, por estar cuando más los necesito y por permitirme gozar de su felicidad en el camino de la vida, juntos cada día enseñándome ejemplos positivos, siempre los llevo en mis pensamientos en mi alma y mi corazón.

A mi hermana menor Gabriela por su coraje y fortaleza, demostrándome cuan fácil es encontrar las cosas que te apasionan en la vida y hacerlo fácil.

Por último, a todos los amigos, profesores y compañeros que conocí en la Escuela Politécnica Nacional, gracias por el tiempo – espacio y el conocimiento que pudimos compartir en las aulas y fuera de ellas, han sido las épocas de crecimiento científico y espiritual más desbordantes que pude haber recibido.

DEDICATORIA

A mi abuela María Moya, de quien tengo todavía el privilegio de compartir el cariño y amor que a veces necesitamos para enfocarnos en lo más dulce de la vida.

A los seres cuyo ocaso y su partida fue muy temprana en esta vida, siempre me recuerdan lo efímero de la existencia y a la vez la magia de estar presente en este mundo maravilloso y a la vez caótico, nos uniremos a la gran energía en algún momento.

A todos quienes han sabido llenar mi vida de momentos compartidos muy provechoso al buscar la iluminación a través de la ciencia, a todos los amigos que conocí en este trayecto y que han sabido darme un poco de su vida y llenar la mía con pensamientos que superan lo que uno encuentra en los libros.

Por último, dedicar a todos los seres que compartimos este pequeño vehículo y hogar, llamado planeta azul, esperando contribuir con un pequeño esfuerzo su manifestación y supervivencia.

“DIOS HABLA VARIOS IDIOMAS EL SECRETO ES DETENERNOS Y
ESCUCHARLO EN EL QUE NOSOTROS LO ENTENDAMOS”

Oscar San

CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
LISTADO DE FIGURAS	ix
LISTADO DE TABLAS	xi
LISTADO DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvii
PRESENTACIÓN.....	xix
CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.4 ALCANCE	3
CAPITULO 2.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 EL AGUA.....	5
2.2 CICLO HIDROLÓGICO	9
2.2.1 PARAMETROS DE FLUJO	11
2.2.2 PARÁMETROS DE ALMACENAMIENTO	12
2.3 CALIDAD DEL AGUA	13
2.4 MARCO LEGAL APLICABLE	17
2.4.1 COA.....	18
2.4.2 LORHUYA	20

2.4.3 TULSMA	23
CAPÍTULO 3.....	29
CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	29
3.1 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA.....	29
3.2 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	30
3.3 TEXTURA DEL SUELO.....	33
3.4 COVERTURA VEGETAL	34
3.5 USO DEL SUELO	36
3.6 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	37
3.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS	39
3.7.1 ÁREA DE DRENAJE	40
3.7.2 PERÍMETRO	40
3.7.3 FORMA DE LA CUENCA	41
3.7.4 SISTEMA DE DRENAJE	43
3.7.5 RELIEVE.....	46
CAPÍTULO 4.....	51
METODOLOGIA	51
4.1 RECOPIACIÓN, RELLENO Y VALIDACIÓN DE DATOS	51
4.1.1 ESTACIONES METEREOLÓGICAS.....	51
4.1.2 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	58
4.1.3 PRECIPITACIÓN	59
4.1.4 TEMPERATURA	62
4.1.5 HELIOFANÍA Y RADIACIÓN SOLAR DIRECTA.....	66
4.1.6 CAUDALES	66
4.2 ESTIMACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO	68
4.2.1 GENERALIDADES.....	68
4.2.2 PRINCIPALES PARAMETROS CLIMATICOS	70
4.3 METODOS PARA LA ESTIMACIÓN REAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	72
4.3.1 ECUACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO.....	72
4.3.2 METODO DE TORNTHTWAITE.....	73
4.3.3 MÉTODO DE HARGREAVES	74

4.3.4	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL POR SATÉLITE (MODIS 16 A).....	75
4.3.5	CURVA DE BUDYKO	77
4.3.6	MEDICIÓN DE CAUDAL	78
4.5	CALIDAD DEL AGUA	83
	CAPÍTULO 5.....	92
	RESULTADOS.....	92
5.1	BALANCE HIDROLÓGICO	92
5.2	ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS.....	96
5.3	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	104
	CAPITULO 6.....	109
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
6.1	CONCLUSIONES.....	109
6.2	RECOMENDACIONES	110
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
	ANEXOS	120
	ANEXO 1.....	121
	Tablas estadísticas correspondientes a datos meteorológicos	121
	ANEXO 2.....	143
	Mapas de la cuenca.....	143

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Geometria y estructura de la molecula de agua.....	7
Figura 2. distribución del agua en la tierra	8
Figura 3. ciclo hidrológico.....	10
Figura 4. zona de estudio.....	29
Figura 5. localización de la cuenca la marquesa.....	30
Figura 6. Unidades hidrográficas en la región Hidrográfica 1 U.H. 154. Nivel 5....	31
Figura 7. delimitación de la cuenca la marquesa	32
Figura 8. valores porcentuales de arcilla en la cuenca la marquesa	33
Figura 9. valores porcentuales de arena en la cuenca la marquesa	34
Figura 10. cobertura vegetal en la cuenca la marquesa.....	35
Figura 11. uso del suelo en la cuenca la marquesa	36
Figura 12. Variación interanual en cotacachi en el periodo de 1990 - 2012	38
Figura 13. Lluvias promedio mensuales en cotacachi en el periodo de 1990 a 2012	38
Figura 14. temperatura media anual en la estación (M105) desde 1990 a 2012..	39
Figura 15. orden del sistema de drenaje	43
Figura 16. Curva Hipsométrica de la cuenca La Marquesa.....	48
Figura 17. Curva Hipsométrica.....	49
Figura 18. Estaciones Meteorológicas	52
Figura 19. Régimen de precipitación unimodal	54
Figura 20. Valores medios diarios de precipitación	55
Figura 21. Análisis de regresión – correlación simple	57
Figura 22. Curva de doble masa	58
Figura 23. Distribución temporal de la precipitación media	59
Figura 24. Distribución altitudinal de la precipitación.....	60
Figura 25. Precipitación media interanual IDW (Isoyetas).....	61
Figura 26. Distribución temporal de la Temperatura estación (M105).....	62
Figura 27. Isotermas en la cuenca La Marquesa	65
Figura 28. Módulos específicos anuales del Ecuador	68

Figura 29. Organización de los productos MODIS en tiles	76
Figura 30. Caudal a través de una sección transversal.....	79
Figura 31. Sitios de Muestreo en la cuenca La Marquesa	85
Figura 32. Tipos de alcalinidad teÓrica	87
Figura 33. Variación de la Precipitación y de la Evapotranspiración potencial y real	92
Figura 34. Valores de Escorrentía resultado de aplicar la ecuación del balance hidrológico	93
Figura 35. BALANCE HIDRologico ANUAL	94
Figura 36. Disponibilidad de agua déficit y superávit hídrico.....	95
Figura 37. Variabilidad espacio - temporal del pH.....	99
Figura 38. Variabilidad espacio - temporal de la temperatura	100
figura 39. Variabilidad espacio - temporal de la alcalinidad.....	101
Figura 40. VariaBILIDAD espaciO - temporal de la Dureza	102
Figura 41. Variación espacial y temporal del Oxigeno disuelto en la cuenca La Marquesa	103
Figura 42. VariaBILIDAD espaciO - temporal de la DBO ₅	103
Figura 43. VariaBILIDAD espaciO - temporal de la DQO	104
Figura 44. VariaBILIDAD espaciO - temporal de LAS Coliformes Totales	107
Figura 45. VariaBILIDAD espaciO - temporal de LAS Coliformes Fecales	108

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. ISOTOPOS DEL HIDROGENO Y DEL OXIGENO.....	6
Tabla 2. composición química del agua y abundancia relativa.....	6
Tabla 3. CRE.....	17
Tabla 4. coa.....	19
Tabla 5. lorhuya.....	20
Tabla 6. Imp PARA agua DE USO Y consumo humano y doméstico	24
Tabla 7. Imp para agua de uso agrícola o riego	25
Tabla 8. Imp PARA agua para la preservación de flora y fauna en aguas frías	26
Tabla 9. criterios de calidad de aguas de uso pecuario	27
Tabla 10. valores característicos de la precipitación en la estación (m317).....	37
Tabla 11. características físico – geográficas de la cuenca la marquesa	40
Tabla 12. índice de compactidad.....	41
Tabla 13. factor de forma	42
Tabla 14. sistema de drenaje	44
Tabla 15. Rangos de la pendiente media	45
Tabla 16. Pendiente media de la cuenca	47
Tabla 17. Cálculo de la Curva hipsométrica.....	47
Tabla 18. Cálculo de la pendiente del río	49
Tabla 19. estaciones meteorológicas	51
Tabla 20. Estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.....	53
Tabla 21. Registro de las variables climáticas y estaciones (1990-2012)	53
Tabla 22. Datos estadísticos de la Precipitación media diaria.....	56
Tabla 23. Regresión lineal, ecuaciones y coeficiente de correlación	57
Tabla 24. Valores de precipitación mensual y anual	60
Tabla 25. Valores característicos de Temperatura.....	63
Tabla 26. Estimación de la temperatura media	64
Tabla 27. Valores de temperatura media anual.....	66
Tabla 28. Estimación de los caudales medios anuales	68
Tabla 29. Factor de corrección k para la zona ecuatorial.....	74

Tabla 30. método de Thornthwaite	74
Tabla 31. Aplicación del método de Hargreaves	75
Tabla 32. Valores ET potencial mensuales MODIS16A2	77
Tabla 33. Et real a partir de la ecuación de Budyko	78
Tabla 34. Precipitación, evapotranspiración y escorrentía en (mm)	81
Tabla 35. Estimación de caudales medios mensuales	82
Tabla 36. aforo de caudal en la cuenca La Marquesa	82
Tabla 37. DEMANDAS DE AGUA EN LA MARQUESA	83
Tabla 38. MÉtodos de los análisis FÍSICOQUÍMICOS y bacteriológicos	84
Tabla 39. Puntos de muestreo en la cuenca La Marquesa	86
Tabla 40. Recolección y preservación de muestras	87
Tabla 41. cantidad de agua en función de la DBO ₅ esperada	89
Tabla 42. Balance Hidrológico en ArcGIS	94
Tabla 43. Disponibilidad superficial	95
Tabla 44. Parámetros físicos en la Cuenca La Marquesa	97
Tabla 45. Parámetros químicos en la Cuenca La Marquesa	98
Tabla 46. Coliformes Totales en la Cuenca La Marquesa	105
Tabla 47. Coliformes Fecales en la Cuenca La Marquesa	105

LISTADO DE ABREVIATURAS

APHA: American Public Health Association
COA: Código Orgánico del Ambiente
CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe
DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO: Demanda Química de Oxígeno
EPN: Escuela Politécnica Nacional
FAO: Food and Agriculture Organization of United Nations
GWW: Global World Weather
GADM: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal
INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
IGM: Instituto Geográfico Militar
IRD: Institut de Recherche pour le developpement
INEN: Instituto Nacional de Estadística y Censos
IGEPN: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional
IEE: Instituto Espacial Ecuatoriano
IEEs: Instituto de Estudios Ecuatorianos
LDIA: Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental
LORHUYA: Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua
LMP: Límite Máximo Permisible
MAGAP: Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca
MAEA: Ministerio del Ambiente y Agua
MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
OD: Oxígeno Disuelto
OMM: Organización Meteorológica Mundial
PUCE: Pontificia Universidad Católica del Ecuador
SNI: Sistema Nacional de Información
SIG: Sistemas de Información Geográfica
TULSMA: Texto unificado de legislación secundaria
UNESCO: United Nations Educational Scientific and cultural Organization

UNORCAC: Unión Nacional de Organizaciones Campesinas de Cotacachi

US-EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

WHO: World Health Organization

RESUMEN

El objetivo fundamental de la siguiente investigación es estimar el Balance Hidrológico, así como evaluar la calidad del agua en la cuenca La Marquesa en el cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura.

Para cumplir con este objetivo, se realizó un análisis teórico para la estimación de la cantidad de agua en la cuenca a través de cálculos empíricos y con el software ArcGIS 10.5, haciendo uso de herramientas propias de los SIG, se consideró la precipitación media mensual y la evapotranspiración potencial con el fin de estimar la variación en el espacio y el tiempo de estos parámetros y hacer una primera descripción de la oferta del recurso hídrico existente en la cuenca.

Para el análisis teórico se usan los registros de la media mensual de la temperatura de los años 1990 a 2012, de la estación meteorológica Otavalo (M0105), la cual es la más próxima al área de estudio siguiendo las recomendaciones de la OMM en cuanto al uso de los datos y su validación, y para el segundo caso haciendo uso del software ArcGIS 10.5, se usó los valores de temperatura media mensual del ráster de las isotermas para todo el Ecuador en el periodo de 1981 – 2010, y así poder asignar valores representativos de temperatura medias mensuales al grupo de estaciones próximas al área de estudio y posteriormente utilizarlas al calcular la temperatura media en la zona considerada y calcular los valores de evapotranspiración potencial de la misma.

El balance hidrológico teóricamente se realizó, recopilando, rellenado y validando los registros de las precipitaciones mensuales en las estaciones Otavalo (M1059), Cotacachi (M0317) y Atuntaqui (M021) las mismas que contaban con registros para el periodo de 1990 – 2012 y así determinar la precipitación media en la zona de estudio a través del método de Isoyetas, los valores de precipitación media junto con los datos de evapotranspiración potencial calculados mediante los métodos de Thonhwaite, Hargreaves y los obtenidos del satélite MODIS16A se juntaron con la expresión de Budyko para calcular los valores de

evapotranspiración real y posteriormente se determinó la cantidad de agua, con la ecuación fundamental de hidrología. La disponibilidad superficial de agua se determinó a través del balance hídrico que es igual a la oferta menos los valores de demanda de agua en el área de estudio, los datos de las demandas de agua se obtuvieron en la dirección zonal del ministerio del ambiente y agua en la ciudad de Ibarra.

Finalmente se realizó una campaña de aforo en la zona de cierre de la cuenca para cuantificar la cantidad de agua, se midieron datos de caudales diarios durante los meses de junio y de octubre respectivamente, estos valores se obtuvieron para validar indirectamente la estimación de la oferta teórica.

Las características de calidad del agua se verificó a través de una campaña de muestreo simple, usando envases plásticos y estériles, en cuatro puntos determinados por las sugerencias y preocupaciones de los encargados del recurso hídrico local, los puntos seleccionados fueron: en la zona de descarga de la cuenca; en la vertiente La Marquesa, aporta parte del volumen para el agua potable de la ciudad de Cotacachi; en el canal de riego para las haciendas y algunas comunidades que se asientan en la cuenca y como último punto en la parte alta de la cuenca que presenta un curso de agua estacional, la caracterización física, química y microbiológica, se determinó en los meses de junio a septiembre del 2019, una vez por mes, los valores de: pH, OD y Temperatura, fueron evaluados *in situ* mientras que los ensayos y cálculos analíticos para la Alcalinidad, Dureza, DBO₅, DQO, Coliformes fecales y Coliformes totales, se realizaron en el LDIA pertenecientes a la EPN.

SUMMARY

The fundamental objective of the following investigation is to estimate the Hydrological Balance, as well as to evaluate the quality of the water in the La Marquesa basin in the Cotacachi canton, Imbabura Province.

To meet this objective, a theoretical analysis was carried out to estimate the amount of water in the basin through empirical calculations and with the ArcGIS 10.5 software, making use of GIS tools, the mean monthly precipitation was considered and potential evapotranspiration in order to estimate the variation in space and time of these parameters and to make a first description of the supply of the existing water resource in the basin.

For the theoretical analysis, the records of the monthly mean temperature from 1990 to 2012 are used from the Otavalo meteorological station (M0105), which is the closest to the study area, following the recommendations of the WMO regarding the use of the data and its validation, and for the second case making use of the ArcGIS 10.5 software, the values of the monthly average temperature of the raster of the isotherms were used for all of Ecuador in the period 1981 - 2010, and thus be able to assign values Representatives of monthly average temperatures to the group of stations near the study area and later use them when calculating the average temperature in the considered area and calculating the potential evapotranspiration values of the same.

The hydrological balance was theoretically carried out, collecting, filling in and validating the monthly rainfall records at the Otavalo (M1059), Cotacachi (M0317) and Atuntaqui (M021) stations, which had records for the period 1990 - 2012 and thus To determine the mean precipitation in the study area through the Isoyetas method, the mean precipitation values together with the potential evapotranspiration data calculated using the Thornthwaite and Hargreaves methods and those obtained from the MODIS16A satellite were combined with the Budyko expression to calculate the real evapotranspiration values and

subsequently the amount of water was determined, with the fundamental equation of hydrology. The surface availability of water was determined through the water balance that is equal to the supply minus the values of water demand in the study area, the data of water demands were obtained in the zonal direction of the Ministry of the Environment and Water in the city of Ibarra.

Finally, a capacity campaign was carried out in the closing area of the basin to quantify the amount of water, data of daily flows were measured during the months of June and October respectively, these values were obtained to indirectly validate the estimate of the supply theoretical.

The water quality characteristics were verified through a simple sampling campaign, using sterile plastic containers, at four points determined by the suggestions and concerns of those in charge of the local water resource, the selected points were: in the discharge area of the basin; on the La Marquesa slope, it contributes part of the volume for drinking water in the city of Cotacachi; in the irrigation canal for the haciendas and some communities that settle in the basin and as the last point in the upper part of the basin that presents a seasonal water course, the physical, chemical and microbiological characterization was determined in the months of June to September 2019, once a month, the values of: pH, DO and Temperature were evaluated in situ while the tests and analytical calculations for Alkalinity, Hardness, BOD5, COD, Fecal Coliforms and Total Coliforms were carried out. in the LDIA belonging to the EPN.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto busca estimar el balance hidrológico y la disponibilidad superficial de agua, así como evaluar el agua y su calidad en algunos afluentes de la cuenca La Marquesa en el cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, para lo cual el trabajo se desarrolló en seis capítulos, los mismos que se estructuraron de la forma siguiente:

El Capítulo 1, presenta los antecedentes en cuanto a la gestión del recurso agua, se cuenta la justificación, objetivos y el alcance del estudio.

El Capítulo 2, describe en base a literatura, el agua, el ciclo hidrológico, balance hidrológico e hídrico superficial, parámetros de flujo y de almacenamiento, usos y aprovechamientos del agua, disponibilidad superficial, oferta y demanda hídrica, juntas de agua, algunos parámetros del agua usados como indicadores de su calidad, así como parte de la legislación medio ambiental vigente.

El Capítulo 3, describe y se hace una primera caracterización en base a literatura especializada y haciendo uso de las herramientas propias de los SIG, el área de estudio, las características físico-geográficas, así como la descripción de los aspectos biofísicos más relevantes y limitados al no contar con estudios específicos para la cuenca La Marquesa.

El capítulo 4, describe la metodología establecida para la estimación del balance hidrológico, la recolección, relleno, validación de datos; métodos para la obtención de la evapotranspiración; aplicación de la expresión matemática de Budyko, la determinación de la disponibilidad superficial de agua a través del balance hídrico, así como la metodología para aforo con micro molinete en cuerpos de agua superficiales y las técnicas de verificación de los parámetros indicadores de calidad de agua.

El Capítulo 5, detalla el análisis de resultados del proyecto haciendo contraste con los límites máximos permitidos en la normativa ambiental vigente y el resultado del balance hidrológico teórico y en el ambiente SIG además de la disponibilidad superficial de agua

El Capítulo 6, aborda las conclusiones de acuerdo con los objetivos planteados, además de las recomendaciones obtenidas de la experiencia que se obtuvo en el trabajo de este proyecto.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Entre los graves acontecimientos que se dan hoy en el planeta, es la disponibilidad de agua dulce, esto tendrá consecuencias en todas las personas. (WHO, 2011) Durante los siguientes 50 años una de las problemáticas más sobresalientes será la cantidad de agua y la calidad que ésta presente y será un problema común de todos los habitantes. (OMM/UNESCO, 1997)

La contaminación generada por residuos de agricultura, la crianza de animales, desperdicios sólidos urbanos, el mal uso de productos fitosanitarios, el exceso de aplicación de fertilizantes, alteran tanto las fuentes de agua que se encuentran en la superficie, así como las subterráneas y se convierten en focos potenciales de enfermedades. (CEPAL, 2012)

El recurso hídrico comprende uno de los problemas más significativos en el Cantón Cotacachi, factores como la variabilidad y alteración en los patrones climáticos, las diferentes actividades antropogénicas que hacen uso de este recurso ya empiezan a tener conflictos al aumentar las demandas por cada uno de los usuarios que se asientan en la cuenca, además del incremento de las personas que se abastecen de agua y que no cuentan con un servicio eficiente y equitativo, se junta la disminución de la cantidad de agua proveniente de los glaciares del volcán Cotacachi. (Rhoades, 2006)

La cuenca La Marquesa en Cotacachi ha perdido casi toda su cobertura vegetal natural, se evidencia descargas directas de aguas residuales provenientes de usos domésticos y agropecuarios, además los incendios en bordes de caminos y parcelas, para aumentar la frontera agrícola en la zona son el principal problema ambiental de la cuenca. (GADM Cotacachi, 2015)

Dentro de las amenazas más importantes se encuentra la variación en las características del agua y su volumen total, resultado de un pobre manejo de las cuencas y factores antrópicos. (GADM Cotacachi, 2016)

1.2 JUSTIFICACIÓN

La evaluación contribuye en la mejora de cantidad, calidad y continuidad del abastecimiento de agua y es tanto preventiva como correctiva. (Valiente, 1999)

Las cuencas hidrográficas corresponden áreas con valor único, estas zonas comprenden fuentes naturales de almacenamiento y provisionamiento de agua además de ser la base para la dinámica entre la naturaleza y los seres humanos que comparten este territorio, permite también una primera caracterización de los recursos hídricos al poder verificar la calidad y la cantidad del agua como un primer paso en la gestión de cuencas con un enfoque directo en los recursos hídricos. (CEPAL, 1994)

Este proyecto permite generar datos adecuados de la cantidad y calidad del agua, estos parámetros proveerán materiales y técnicas de sustento en la toma de disposiciones que podrán ser integrados a otras actividades y proyectos: agroecológicos, biodiversidad, recursos ambientales, además en los programas de mejora y preservación de vertientes y cuencas hidrográficas.

La verificación de la calidad del agua y la estimación de su cantidad, permitirá obtener resultados, evidenciados en un conjunto de valores de parámetros del agua los cuales podrán ser usados en otras investigaciones, análisis de tendencias de la calidad del agua, información que servirá como una guía para educación ambiental a los ciudadanos y las diferentes comunidades que se asientan en la cuenca, enfocados en el mantenimiento, protección y remediación de los diferentes cuerpos de agua así como en la integración de las herramientas legales y normativas de uso.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la fuente “La Marquesa” cuantificando los distintos componentes del balance hidrológico y verificando la calidad del agua para determinar la disponibilidad de agua y su estado actual para consumo humano respecto a la normativa vigente.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la cantidad de agua en la cuenca “La Marquesa” mediante el análisis de su oferta y demanda, para determinar zonas con déficit o superávit de agua en el espacio y el tiempo previniendo escenarios de escasez de agua.
- Determinar la cantidad de agua a través de una campaña de aforo en el punto de cierre de la cuenca La Marquesa para contrastar con el balance hidrológico estimado, validando indirectamente el método aplicado tanto para época seca y lluviosa.
- Verificar la calidad del agua en la cuenca La Marquesa a través de una campaña de muestreo y programa de análisis de agua para determinar la variabilidad de los parámetros en el espacio, identificando zonas contaminadas.

1.4 ALCANCE

Esta investigación está dirigida a cuantificar la disponibilidad superficial de agua haciendo uso del balance hídrico e hidrológico, además de la evaluación de la calidad en la cuenca La Marquesa, que se localiza dentro de la franja andina del cantón Cotacachi en la Provincia de Imbabura, a través del análisis de algunos parámetros físicos, químicos y microbiológicas del agua en cuatro sitios de control establecidos en base a las preocupaciones locales, los mismos que están ubicados en la cuenca baja, en el punto de cierre, cerca de la comunidad de él

Batan, en dos puntos dentro de la zona media de la cuenca, en la vertiente La Marquesa que aporta al sistema de Potabilización de la ciudad de Cotacachi y dentro del canal de riego el cual abastece a las haciendas aledañas y las comunidades que se abastecen aguas abajo y como último punto en la zona alta de la cuenca, estos análisis se desarrollaron una vez por mes en el periodo de Junio a Septiembre del 2019

La estimación del balance hidrológico se realizó considerando la precipitación media y el cálculo de la evapotranspiración potencial en el área de estudio para de esta forma obtener la oferta hídrica en el área de estudio, no se consideran los escenarios del cambio climático además que en este caso únicamente se analiza la disponibilidad superficial de agua a través del balance hídrico que es igual a la oferta menos la demanda en la cuenca La Marquesa.

Se utilizo los sistemas geográficos de información, ArcGIS 10.5 para analizar el comportamiento espacio temporal de la oferta de agua en la cuenca. Finalmente se midió la cantidad de agua en el rio La Marquesa, en la zona de cierre de la cuenca diariamente en los meses de junio y octubre del 2019, para comprobar mensualmente los caudales medios.

Los datos hidrometeorológicos obtenidos serán una primera línea base en la generación de información para la cuenca La Marquesa cuyos valores al momento son limitados e inexistentes en cuanto a datos de caudales y parámetros de calidad del agua; estos datos permitirán hacer una primera descripción de la situación actual y podrán ser usados en futuros proyectos o investigaciones y como una herramienta tangible con miras a difundir y socializar dentro de los actores involucrados en los recursos naturales y específicamente en el manejo del agua, además permitirá una gestión integral del agua en la ciudad de Cotacachi y las comunidades que se benefician del recurso.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 EL AGUA

Los orígenes del agua, se remontan a la creación misma del universo y el planeta tierra, para muchos investigadores la explicación más aceptada corresponde a la teoría de la nube caliente, la cual describe el aporte del agua junto con elementos ligeros a partir del choque de cometas y cuerpos celestes de segunda generación contra el planeta tierra, en la evolución del universo mismo. (De Marsily, 2003)

La dinámica y evolución del agua en la Tierra lo convierten en un planeta muy especial, la existencia de vida está directamente relacionada con el apareamiento del agua y los orígenes todavía son tema de investigación, el volumen total de agua se la conoce como hidrosfera y su movimiento en la tierra como su ciclo hidrológico, que ha sucedido desde hace millones de años y es necesario para el equilibrio vital del planeta. (Pardo, 2013)

El agua está constituida por una mezcla de moléculas de naturaleza química semejantes pero diferentes en cuanto a sus propiedades físicas, debido a la presencia en su mayoría de tres isotopos de oxígeno y tres isotopos del hidrógeno naturales, que pueden formar moléculas de agua con diferentes características, normalmente el líquido al que llamamos agua es una mezcla de agua ligera y pequeñas cantidades de agua pesada e hiper pesada. (Félez, 2009)

En la tabla 1, se muestran algunos de los isotopos del Oxígeno como del Hidrógeno, así como las características principales como el número y masa atómica, la abundancia relativa de cada una de estas moléculas su actividad y el nombre como el que se lo identifica.

TABLA 1. ISOTOPOS DEL HIDROGENO Y DEL OXIGENO

ISOTOPO	ABUNDANCIA	NOMBRE	Actividad
${}^1_1\text{H}^1$	99.98	Hidrógeno	Estable
${}^1_1\text{H}^2$	0.016	Deuterio (D)	Estable
${}^1_1\text{H}^3$	$5 \cdot 10^{-6}$	Tritio (T)	Radioactivo
${}^8_8\text{O}^{16}$	99.76		
${}^8_8\text{O}^{17}$	0.04		
${}^8_8\text{O}^{18}$	0.2		
${}^8_8\text{O}^{14}$	trazas		Radioactivo
${}^8_8\text{O}^{15}$	trazas		Radioactivo
${}^8_8\text{O}^{19}$	trazas		Radioactivo

Fuente: (Soler, Otero, Rosell, Carrey, & Domènech)

Elaborado por: Sandoval O.

El agua, representa una de las sustancias más simples conformado a nivel molecular por hidrogeno y oxígeno, sin embargo, el agua tiene excepcionales características, principalmente debido a su composición y estructura. (Carbajal & González, 2012) en la tabla 2, se muestran algunas de las moléculas de agua y su abundancia relativa.

TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA Y ABUNDANCIA RELATIVA

MOLECULA	ABUNDANCIA RELATIVA (%P/P)
${}^1_1\text{H}_2{}^{16}_8\text{O}$	99.7
${}^2_1\text{H}_2{}^{16}_8\text{O}$ o D_2O	0.000002
${}^3_1\text{H}_2{}^{16}_8\text{O}$ o T_2O	trazas
${}^1_1\text{H}_2{}^{18}_8\text{O}$	0.2
${}^1_1\text{H}_2{}^{17}_8\text{O}$	0.04
${}^1_1\text{H}^2{}^1_1\text{H}^1{}^{16}_8\text{O}$ o HDO	0.03

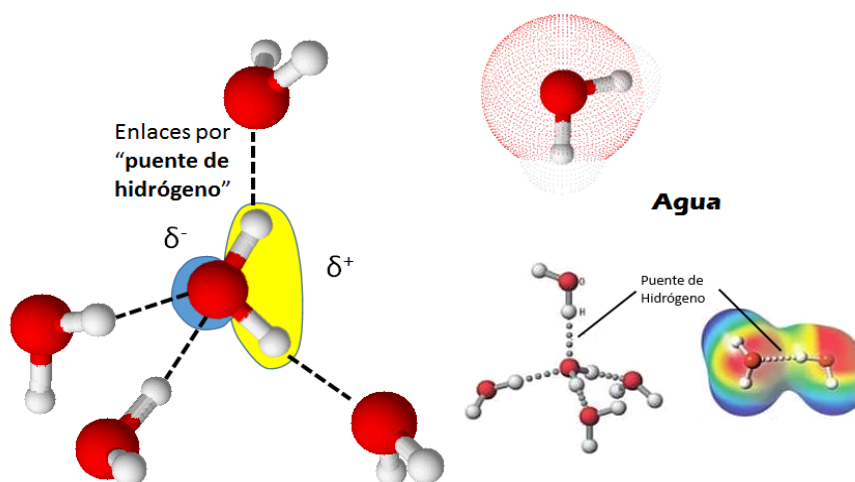
Fuente: (Soler, Otero, Rosell, Carrey, & Domènech)

Elaborado por: Sandoval O.

El agua está formada principalmente de hidrogeno unido al oxígeno, adoptando una geometría triangular con un ángulo de 104.5 grados entre los enlaces O-H, el oxígeno posee mayor electronegatividad que el hidrogeno lo que se traduce en la aparición de cargas eléctricas parciales, además el oxígeno posee más de un par de electrones no compartidos que dan la asimetría de la distribución de carga y convierten al agua en una molécula polar. (Peón, 2007)

La estructura y la geometría de esta molécula además de las características de las fuerzas electroquímicas que las mantienen unidas proporciona al agua propiedades tan particulares, además la molécula del agua esta ordenada en el espacio adoptando la forma de un tetraedro irregular teniendo distribuido en el espacio los átomos de hidrogeno en los vértices y el átomo de oxígeno en el centro. (Garrido & Teijón, 2006)

FIGURA 1. GEOMETRIA Y ESTRUCTURA DE LA MOLECULA DE AGUA



Fuente: (Google, 2020)

Las propiedades que se evidencian a nivel microscópico dotan al agua de un conjunto de características a nivel macroscópico que hacen posible incluso la vida mismo, entre las cuales podemos describir algunas de las principales. (Cirelli, 2012)

- Puentes de Hidrogeno, enlace o interacción débil de mucha importancia, este enlace dota a la molécula de agua de algunas propiedades

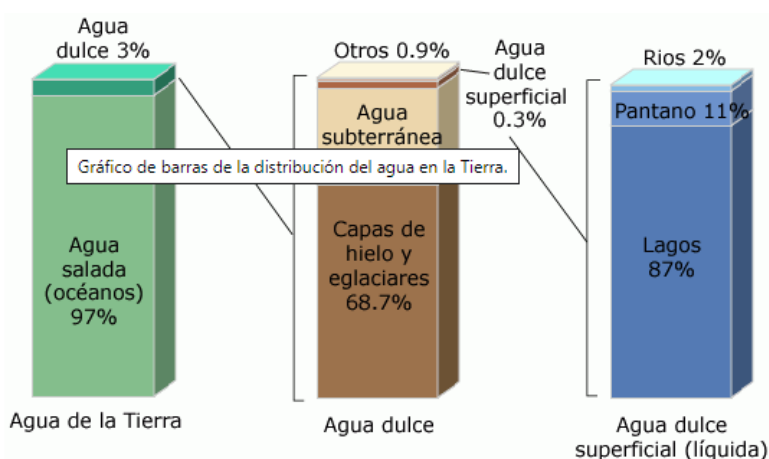
“anómalas” además de adoptar características de una molécula de mayor tamaño.

- El agua coexiste en las tres fases a condiciones normales de presión y temperatura en la tierra.
- Elevada capacidad calorífica, le permite absorber una cantidad de calor importante sin elevar su temperatura (1 cal/g. °C).
- Elevada constante dieléctrica, favorece ionización de sustancias polares.
- Calor latente de fusión alto, equilibra los cambios drásticos de temperatura en puntos cercanos a la solidificación.
- Calor latente de vaporización alto, determina la transferencia de calor entre los cuerpos de agua y la atmosfera.
- Elevada tensión superficial, dota a la molécula de elasticidad además de ser responsable de la acción capilar.

Después de revisar los orígenes y las características del agua, se procede a hablar un poco de la cantidad presente en la tierra.

El agua está distribuida en más del 70% del planeta; encontrándose tanto en aguas superficiales, como subsuperficiales, en sus diferentes estados y diferentes compuestos, se considera parte del origen y sustento de la vida, su dinámica modifica la tierra y normaliza los patrones del clima y su equilibrio. (Cirelli, 2012)

FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA TIERRA



Fuente: US Geological Survey

El componente mayoritario que se encuentra en la tierra es el agua. La máxima cantidad presente se localiza en los océanos, que agrupan el 97% del agua existente en el planeta. La cantidad restante corresponde a agua dulce que no toda es disponible. (FAO, 1996)

De toda la cantidad de agua que se tiene conocimiento aproximadamente el dos punto cinco por ciento es dulce del total que se estima en 1400 millones de kilómetros cúbicos de agua. De esta agua dulce su mayoría está localizada en estado sólido como glaciares y hielo y la gran mayoría de esta agua solida no es accesible. (SEMARNAT, 2016)

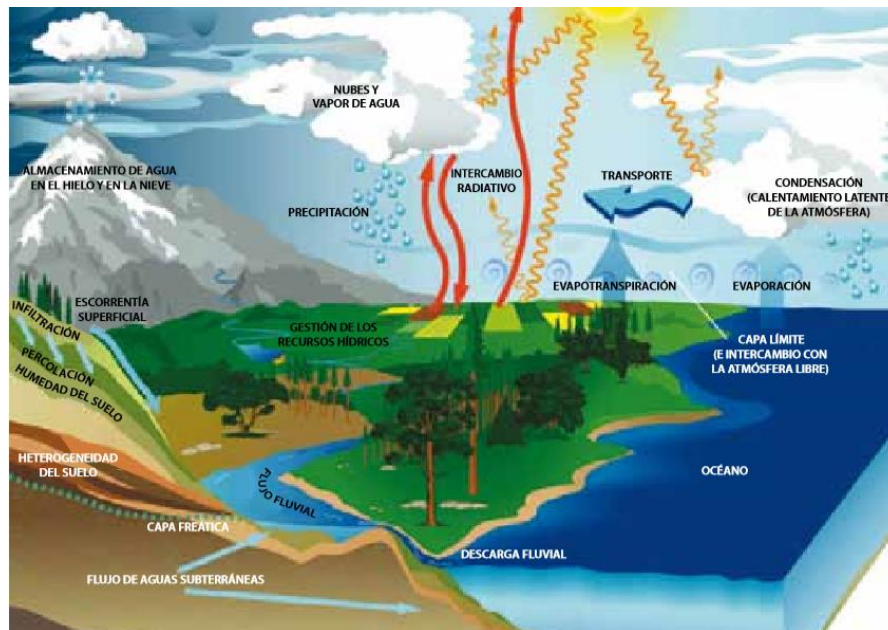
2.2 CICLO HIDROLÓGICO

El movimiento del agua a través de la hidrosfera es continua e ininterrumpida, la dinámica y el camino que recorre no tiene un principio y un fin determinados, pudiendo comenzar su descripción en cualquier punto de los numerosos componentes del ciclo hidrológico, el cual constituye un fenómeno complejo y se integra de ciclos tanto de escala local, regional y continental. (CHOW, MAIDMENT, & MAYS, 1994)

La energía solar y el viento evaporan el agua presente a nivel superficial del océano, el vapor de agua generado se acumula en las nubes por toda la atmosfera, la cantidad de agua se condensa y forma diferentes tipos de precipitación, parte de ésta se evapora antes de llegar al suelo, otra es interceptada por construcciones o la vegetación que aporta también agua al transpirar. Del agua que llega al suelo parte se evaporará, otra fluye como escorrentía y otra se infiltra incluso llegando a percolar a estratos más bajos del suelo y subsuelo posteriormente para integrar cuerpos de agua mayores. (Aparicio, 1992)

La existencia, la distribución del agua en la naturaleza presentan un recorrido o ciclo cerrado ya que las etapas por las que ésta atraviesa siempre regresan al punto de partida. (Monsalve, 1995)

FIGURA 3. CICLO HIDROLÓGICO



Fuente: OMM, 2011

Balance Hidrológico. – El balance hidrológico se define como el procedimiento que permite describir el movimiento de los flujos de agua dentro del ciclo hidrológico en su expresión solamente biofísica; es decir sin tomar en cuenta los aspectos relacionados con el manejo y la extracción del recurso por los seres humanos.

Balance Hídrico Superficial. – Es el estudio de la estructura y funcionamiento de las cuencas superficiales, cuerpos de agua y ríos; de gran relevancia para la gestión del agua en el espacio y en el tiempo. A través del balance hídrico se puede hacer una determinación cuantitativa de los recursos hídricos y sus modificaciones por influencia de las actividades antropogénicas

Oferta Hídrica. – La oferta hídrica superficial corresponde la cantidad de agua presente en la cuenca, después de que la precipitación que exista en la misma a cubierto las cuotas de infiltración y evapotranspiración, la estimación de la oferta de agua superficial se determina al realizar el balance hídrico, cuantificando la escorrentía superficial. Este volumen corresponde a la cantidad disponible de agua para cubrir las demandas que existan en el interior de la cuenca.

Demanda Hídrica. – La demanda hídrica corresponde a la cantidad total de agua requerida para cubrir las diferentes actividades humanas que se presente en la cuenca como: Uso doméstico, pecuario, agrícola, industrial y servicios.

Disponibilidad. – Se entiende por disponibilidad de agua superficial como la cantidad disponible es decir la cantidad de agua que resulta de la diferencia entre la oferta y la demanda que existe en la cuenca, cuando la disponibilidad sea negativa se entenderá como déficit hídrico y cuando el valor sea positivo se define como superávit hídrico. La disponibilidad permite definir si es posible autorizar nuevos aprovechamientos sin afectar los que ya se encuentran asignados.

Usos Y Aprovechamientos del Agua. – Los usos del agua corresponden a la utilización de este recurso en actividades indispensables y de primer orden como son: el consumo humano, el riego y uso en actividades pecuarios y de abrevadero de animales, en conjunto con la soberanía alimentaria

Los aprovechamiento del agua comprenden a todo el conjunto de actividades productivas que involucren el uso del agua y que no se encuentren dentro de la soberanía alimentaria. Cada uno de estos usos y aprovechamientos será otorgado por la autoridad única del agua.

Junta de Agua Potable. – Representan el conjunto de organizaciones comunitarias que se encargan de dar el servicio público de agua potable y en otros casos de riego y drenaje, estas juntas se crean cada una independientemente y considerando la optimización y eficiencia en la prestación de servicios con calidad y equidad en el servicio en la distribución del agua.

2.2.1 PARAMETROS DE FLUJO

Evaporación. – Transformación de agua líquida en vapor de agua a una temperatura menor a la de ebullición por una superficie abierta.

Evapotranspiración. – Conformada por el volumen de agua en vapor que ingresa a la atmosfera por la transpiración de las plantas y el agua que sale del suelo.

Escorrentía. – Cantidad de agua que producto de las precipitaciones se desplaza sobre o por debajo del suelo.

Infiltración. – Constituye el volumen de agua que se encuentra en la superficie y pasa al interior del suelo por efecto de las resultantes de la fuerza de gravedad y fuerzas capilares.

Intercepción. – Fenómeno por el cual una cantidad de las precipitaciones es detenida por estructuras y vegetación, generándose una pérdida debido a evaporación o transpiración antes de llegar al suelo.

Precipitación. – Cantidad de agua en todas sus formas que llega a la superficie del suelo, sea ésta en estado sólido o líquido.

Transpiración. – Cantidad de agua que se transfiere desde las plantas en forma de vapor a la atmosfera.

2.2.2 PARÁMETROS DE ALMACENAMIENTO

Cuenca hidrográfica. – Es el espacio físico dentro de un área territorial, que incluye todo tipo de infraestructura, asentamientos humanos, zonas de producción, y que está limitada por la línea divisoria de sus aguas que escurren superficialmente hacia un cuerpo hídrico común.

Almacenamiento por depresiones. – Agua confinada en depresiones del terreno.

Cauce. – Cuerpo hídrico que recibe las precipitaciones directas y el agua que fluye tanto por escorrentía superficial o afloramientos subterráneos.

Acuífero. – Zonas capaces de almacenar agua debido a la permeabilidad del suelo y las características geológicas particulares del área, están situadas bajo la superficie del suelo.

Laderas. – Componentes vegetales y construcciones que interceptan el agua en su camino al suelo.

2.3 CALIDAD DEL AGUA

La salud de los cuerpos de agua está directamente relacionada con la calidad que estos presentan, la calidad está definida en función de características físicas, químicas, biológicas y estéticas, que definirán los usos y aprovechamientos que se le den a este recurso, que sostiene además procesos complejos dentro de la naturaleza. (Ordoñez, 2018)

La importancia de la calidad del agua en las cuencas y los efectos que tiene en las comunidades y los sistemas biológicos no solo depende de su cercanía geográfica. Las alteraciones que tiene el agua desde el origen hasta un punto terminal son acumulativas. Esto se traduce en que los asentamientos aguas abajo están afectadas por toda la actividad que se produzcan aguas arriba incluyendo las actividades que afecten a todos los tributarios dentro de la cuenca. (EPA, 2012)

La variación de la calidad del agua además de los factores antropogénicos son consecuencia de la naturaleza del área de estudio, meteorología, características volcánicas, geológicas, hídricas, entre otras, que desembocan en un deterioro del ambiente acuático, sin embargo, impactan menos que las actividades desarrolladas por el hombre. (Pepper, Gerba, & Brusseau, 2006)

Las características físicas, químicas y microbiológicas se usan como guías o indicadores para poder verificar las características del agua, entre los principales se pueden mencionar algunos.

Físicos. - Estas propiedades se manifiesta con la apariencia que tiene el agua.

Sabor y Olor. - cuya presencia responde a la presencia de compuestos orgánicos, gases disueltos, y sales disueltas siendo algunas inocuas.

Color. – Se manifiesta al estar presentes compuestos orgánicos e inorgánicos suspendidos y en solución siendo este el color aparente, al eliminar el material suspendido se conoce como color verdadero.

Turbidez. - Representa la propiedad óptica de la luz al ser dispersada y no transmitida a través de un líquido cuando existe presencia de material suspendido, al tener interacciones muy complejas este término se usa normalmente en términos cualitativos.

Temperatura. - El conjunto de procesos como la solubilidad de las sustancias y la actividad biológica que se desarrollan en el agua dependen directamente de la temperatura, las variaciones de esta modifican los diferentes fenómenos que se desarrollan en la misma y su determinación se lo realiza por termometría.

Químicos. - La presencia de sales, minerales y otros componentes solubles en el agua.

Alcalinidad. - Esta dada por la existencia de carbonatos, bicarbonatos, y la presencia del radical oxidrilo OH y representa la capacidad de amortiguamiento que tiene el agua frente a iones de hidrogeno o compuestos ácidos.

Algunos compuestos como los fosfatos, silicatos, boratos, etc., contribuyen a la alcalinidad, sin embargo, al encontrar valores insignificantes pueden ignorarse en la práctica. Este parámetro es condicionante en técnicas de ablandamiento o de corrosión, así como en la capacidad buffer del agua.

Dureza. - Esta característica está presente debido al contenido de sales de calcio y magnesio, propios de la corteza del suelo por donde pasan las corrientes de agua.

Es indeseable cuando se producen sales insolubles que aumentan el consumo de jabón en procesos de lavado y pueden producirse incrustaciones en tuberías o maquinaria.

pH. - Representa la cantidad de iones de hidrogeno, es un valor que mide lo ácido o alcalino.

O.D. - La cantidad de gases en el agua está relacionado con la solubilidad que estos tienen dependiendo de la temperatura y la presión a la que se encuentren, además de los fenómenos oxidativos la presencia de organismos capaz de

producir o consumir oxígeno afectan la variabilidad de este parámetro en el agua que dependerá del material orgánico presente.

DBO. - Nos permite identificar la presencia y la biodegradabilidad del material orgánico presente, además de hacer una estimación del oxígeno que se necesita para reaccionar con el carbono de la materia orgánica y la velocidad con la que este puede ser consumido por microorganismos que se encuentren en el agua y el oxígeno utilizado reaccionar con la materia inorgánica y algunos compuestos de nitrógeno.

DQO. - Constituye la determinación del material biodegradable y no biodegradable que es químicamente oxidado, representa el equivalente de O₂ necesario para reaccionar con la materia orgánica.

Biológicos. - Son las características más importantes cuando el consumo y uso es humano, debido a que el agua constituye un lugar adecuado y foco potencial para el desarrollo de enfermedades, y son significativas al modificar las propiedades fisicoquímicas.

Coliformes Totales y Fecales. - El grupo coliforme está constituido por microorganismos heterogéneos que principalmente se desarrollan en organismos homeotermos y exclusivos de la materia fecal, al tener capacidad para multiplicarse en el agua, funcionan como indicador de contaminación fecal en agua.

Los grupos de bacilos Gramnegativos no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, capaces de fermentar la lactosa, responden a los grupos de coliformes fecales y totales estos difieren en la temperatura de incubación de 44.5°C y 35°C respectivamente.

Radiológicos. – Se considera en el caso en que el agua pudo tener contacto con sustancias radioactivas.

Programa de Muestreo

La metodología de muestreo comprende un conjunto de actividades y métodos normalizados que establecen los pasos a seguir en la verificación y en el análisis de algunos de los parámetros de la calidad del agua.

Planificación del muestreo

Se deriva de las acciones en la zona de estudio en la que se puede determinar posibles contaminantes, las fuentes que generan estos compuestos, la hidrogeología de la zona y otros factores antropogénicos o naturales que modifiquen la calidad del agua, a partir de estas observaciones y tomando en cuenta las consideraciones de las personas encargadas del agua en el cantón seleccionar un potencial sitio de muestreo.

Se debe considerar si hay información referente a calidad del agua en los sitios analizados, datos existentes de las características e información disponible de los límites permisibles, requerimientos de calidad y una lista de los parámetros que se analizarán in situ y de los que se analizarán en laboratorio. (Almeida, 2010)

Muestreo

La metodología para el muestreo están debidamente estandarizados, el plan de muestreo dependerá de los objetivos planteados y para su desarrollo deben considerarse cuando y donde se tomarán las muestras, tipo de muestreo, la distribución temporal, el sistema de toma de muestras, uso de métodos analíticos validados, entre otros, así se logra asegurar la representatividad del muestreo y obtener mediciones más fiables. (APHA, 2017)

El uso de normas técnicas detalla los pasos que se siguen en el muestreo de los cuerpos hídricos, los cuidados y métodos particulares en la recolección de muestras en cuerpos superficiales de agua para su caracterización, además las técnicas y precauciones que deben considerarse con el transporte y conservación de todo tipo de muestras de agua. (INEN, 2020)

2.4 MARCO LEGAL APLICABLE

Dentro del conjunto de Leyes y de la normativa ambiental vigente. Se analizan brevemente:

Constitución de la República del Ecuador (CRE)

La CRE representa la carta magna publicada en el registro oficial en el año 2008, abarca conceptos y principios ambientales vanguardistas, además de garantizar los derechos en cuanto al acceso al agua tanto en cantidad como en calidad.

TABLA 3. CRE

<p>Título II: Derechos</p> <p>Capítulo II: Derechos del Buen Vivir</p> <p>Sección I: Agua Y Alimentación</p> <p>Sección VII: Salud</p>	<p>Art. 12 El agua es un derecho humano fundamental e irrenunciable, es patrimonio nacional estratégico y público, esencial para la vida, inalienable, imprescriptible e inembargable.</p> <p>Art. 32 El derecho a la salud, así como el ejercicio conjunto de la educación, el trabajo, la seguridad social, la alimentación, ambientes sanos y el derecho al agua entre otros sustentan el buen vivir.</p>
<p>Capítulo VII: Derechos de la naturaleza</p>	<p>Art. 71 La pacha mama o naturaleza tiene el derecho a que se respete integralmente su existencia, el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales estructura, funciones y procesos evolutivos.</p>

CONTINUACION TABLA 3

<p>Título VII: Régimen del buen vivir</p> <p>Capítulo II: Biodiversidad y recursos naturales</p> <p>Sección VI: Agua</p>	<p>Art. 411 El estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Regulando actividades que alteren el recurso hídrico con énfasis en las fuentes y zonas de recarga.</p>
--	--

Fuente: CRE, 2008

Elaborado por: Sandoval O.

2.4.1 COA

El COA se publicó en el registro oficial No. 983 del doce de abril del 2017, abarca de manera integral los conceptos ambientales, así como regula las obligaciones, derechos y las garantías ambientales que se disponen en la legislación ecuatoriana, así como las instituciones y leyes internacionales ratificados por el estado.

El COA entro en vigor en el año 2018 y constituye el cuerpo normativo más importante del país en materia ambiental, ya que regulan los temas para una gestión ambiental adecuada, entre las principales temáticas que se aborda el cambio climático, gestión de residuos, áreas protegidas, calidad ambiental, vida silvestre, acceso a recursos genéticos, patrimonio forestal, etc.

En la tabla 4, se analizan brevemente algunos de los artículos relevantes presentes en el código orgánico del ambiente en cuanto al uso y aprovechamiento del agua. Estos artículos son parte del conjunto jurídico con el que se cuenta para abordar las problemáticas en los recursos hídricos.

TABLA 4. COA

<p>TITULO I: Objeto, Ámbito y fines</p>	<p>art1. Proteger los derechos de la naturaleza y garantizar el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado para lograr el Buen vivir o Sumak Kawsay.</p> <p>art7. Prevenir, minimizar evitar y controlar los impactos ambientales, así como establecer las medidas de reparación y restauración de los espacios naturales degradados.</p> <p>art9. Establecer los mecanismos que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, así como la articulación de las entidades públicas, privadas y de los responsables de realizar investigación ambiental.</p>
<p>TITULO II: De los Derechos, Deberes y Principios Ambientales</p>	<p>art4. Promover el goce de los derechos de la naturaleza y de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, los cuales son inalienables, irrenunciables, indivisibles.</p> <p>art 5.4 La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico.</p>

CONTINUACIÓN TABLA 4.

	<p>art6. Derechos de la naturaleza, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración.</p>
--	--

Fuente: COA, 2017

Elaborado por: Sandoval, O.

2.4.2 LORHUYA

Se publicó en el registro oficial No. 305 del 06 de agosto del 2014. Comprende el conjunto de normativas y el cuerpo legal que integra la administración del agua en el territorio ecuatoriano, así como los instrumentos y herramientas que permiten una gestión más efectiva y enlaza diferentes sectores sociales que cada día compiten por el acceso al recurso hídrico.

Esta ley tiene por objeto avalar el acceso al agua como derecho humano y los derechos de la naturaleza, además de gestionar de manera integral el recurso hídrico, así como normar y verificar sus aprovechamientos y recuperación, a fin de garantizar el buen vivir. Algunas leyes y artículos se presentan en la tabla 4.

TABLA 5. LORHUYA

<p>TITULO I: Disposiciones Preliminares Capítulo I: De los Principios</p>	<p>art.1 El agua como recurso natural es patrimonio nacional y sector estratégico al servicio de los ciudadanos y elemento esencial para la soberanía alimentaria.</p> <p>art3. El acceso al agua como un</p>
---	---

CONTINUACIÓN TABLA 5.

	la Autoridad Única del Agua. g) Otorgar las autorizaciones para todos los usos, aprovechamientos del agua.
	<p>art 32. La gestión del agua es exclusivamente pública a cargo del estado o comunitaria cuando la realiza comunidades, pueblos, nacionalidades y juntas de agua potable y riego.</p> <p>Art. 33 La gestión pública de los recursos hídricos comprende la formulación de políticas nacionales, control de autorización y regulación en el uso y aprovechamiento del agua.</p> <p>Art. 36 Deberes estatales en la gestión integrada a) Promover y garantizar el derecho humano al agua; b) Regular los usos y aprovechamientos del agua y las acciones para preservarla en cantidad y calidad mediante un manejo de sustentable a partir de parámetros de calidad y normas técnicas.</p> <p>Art. 37 Servicios públicos básicos. Alcantarillado sanitario: recolección y conducción tratamiento y disposición final de aguas residuales.</p>
<p>Capítulo VII Obligaciones del estado para el derecho humano al agua</p> <p>Sección Segunda</p>	<p>Art. 87 Tipos y plazos de autorizaciones. 2.a) Autorizaciones para consumo humano: durante veinte</p>

CONTINUACIÓN TABLA 5.

De los Usos del Agua	<p>años, modificándose en caso de variaciones demográficas o de caudal y por periodos similares.</p> <p>Art. 88 Uso, en actividades básicas indispensables para la vida, como el consumo humano, el riego, la acuicultura y el abrevadero garantizando la soberanía alimentaria.</p>
----------------------	---

Fuente: LORHUYA

Elaborado por: Sandoval O.

2.4.3 TULSMA

El TULSMA, integra un conjunto de conceptos, normativas y disposiciones además de metodologías técnicas cuya función es regular y normar los conceptos de calidad del agua para los diferentes aprovechamientos del cual hacen uso.

Este texto comprende el análisis de los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos, radiológicos cuyos valores son estándares y su determinación estará en dependencia de los requisitos de calidad del agua a ser usada, así como conceptos y técnicas para análisis en cuerpos hídricos y las características que deben cumplir las aguas a ser descargadas.

Dentro de esta normativa podemos encontrar para el recurso agua la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes, que detalla los conceptos de calidad para los diferentes usos y aprovechamientos como las aguas:

- De uso y consumo humano y doméstico, previo a su potabilización.
- De uso agrícola o de riego.
- Para la preservación de flora y fauna en aguas frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
- Aguas de uso pecuario.

El TULSMA, como objetivo principal tiene la vigilancia y la prevención de daños ambientales, en cuanto a los recursos hídricos. Además, esta norma busca cuidar y asegurar la salud de los recursos hídricos en la medida de las diferentes características que deben cumplir para sus aprovechamientos y usos salvaguardando el bienestar de la población y de las diferentes interacciones con el ambiente en general.

En el presente proyecto se usan y se incluyen los límites máximos permisibles en base a la normativa ambiental vigente, estos parámetros serán contrastados con los valores que se determinaron experimentalmente, así como con los datos obtenidos in situ. Como se pueden ver a continuación en las tablas de la 5 a la 9 las mismas que establecen los parámetros, unidad de medida y los LMP.

TABLA 6. LMP PARA AGUA DE USO Y CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO

Parámetros	Expresado Como	Unidad	LMP
Alcalinidad	CaCO ₃	mg/l	-
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		-
Dureza Total	CaCO ₃	mg/l	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	-
Oxígeno Disuelto	O. D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l

CONTINUACIÓN TABLA 6.

Potencial Hidrogeno	pH	U	6-9
Temperatura	T	°C	Condición Natural +/- 3 grados

Fuente: TULSMA

Elaborado por: Sandoval, O.

Entendiéndose las aguas que se utilizan para el goce de necesidades humanas como: beberla, la preparación de alimentos, el uso en actividades caseras individualmente o colectivas, cuidado personal, limpieza de herramientas y utensilios y cualquier otro uso doméstico.

TABLA 7. LMP PARA AGUA DE USO AGRICOLA O RIEGO

Parámetros	Expresado Como	Unidad	LMP
Alcalinidad	CaCO ₃	mg/l	-
Coliformes Totales	nmp/100 ml		1000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		-
Dureza Total	CaCO ₃	mg/l	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	-
Demanda Química de Oxígeno			
Oxígeno Disuelto	O. D	mg/l	-
Potencial Hidrogeno	pH		6.5 – 8.4

CONTINUACIÓN TABLA 7.

Temperatura	T	°C	Condición +/-3 grados
--------------------	---	----	-----------------------

Fuente: TULSMA

Elaborado por: Sandoval O.

Así mismo se definirán a las aguas para las actividades agrícolas, las mismas que se utilicen y empleen en todas las actividades conexas, ligadas o complementarias al riego de cultivos y serán denominadas aguas de uso agrícola. Está prohibido el uso de aguas servidas en el riego, únicamente pudiendo ser utilizadas las aguas servidas que cumplan con los límites permisibles que se encuentran estipulados en esta norma y las mismas que hayan sido tratadas previamente a su uso en irrigación de cultivos.

TABLA 8. LMP PARA AGUA PARA LA PRESERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA EN AGUAS FRIAS

Parámetros		Expresado Como	Unidad	LMP
Alcalinidad		CaCO ₃	mg/l	-
Coliformes Totales		nmp/100 ml		-
Coliformes Fecales		nmp/100 ml		200
Dureza Total		CaCO ₃	mg/l	-
Demanda Bioquímica Oxígeno (5 días)		DBO ₅	mg/l	-
Demanda Química de Oxígeno		DQO	mg/l	-
Oxígeno Disuelto	O. D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l	

CONTINUACIÓN TABLA 8.

Potencial Hidrogeno	Ph	U	6, 5-9
Temperatura	T	°C	Condiciones Naturales +/- 3 grados; máxima 20

Fuente: TULSMA

Elaborado por: Sandoval O.

Las aguas consideradas para la preservación de flora y fauna serán aquellas que se empleen en actividades que posibiliten los ciclos reproductivos y una dinámica normal en sistemas bioacuáticas como la pesca y el crecimiento de especies acuáticas en sistemas productivos como la acuicultura, así mismo estas aguas permitirán el mantenimiento de los diferentes ecosistemas conexos a los cuerpos hídricos y su vida natural.

TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS DE USO PECUARIO

Parámetros	Expresado Como	Unidad	LMP
Alcalinidad	CaCO ₃	mg/l	-
Coliformes Totales	nmp/100 ml		Promedio mensual < 5000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		<1000
Dureza Total	CaCO ₃	mg/l	-
Demanda Bioquímica Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	-
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	-
Oxígeno Disuelto	O. D	mg/l	3

CONTINUACIÓN TABLA 9.

Potencial Hidrogeno		pH	u	6-9
Temperatura	T	°C	Condición Natural +/- 3 grados	

Fuente: TULSMA, Libro VI, Anexo I

Adaptado por: Sandoval O.

Las aguas destinadas para uso pecuario serán aquellas que se utilicen para el abrevadero de animales y todas las actividades que deriven de estos usos y aprovechamientos, las diferentes actividades serán establecidas por los organismos competentes.

Se determinaron algunos procedimientos tanto para el muestreo, manejo, conservación y transporte de muestras además de algunos criterios para el aforo en campo de los cursos de agua.

Normas Técnicas

INEN 2176:1998, Agua. Calidad del Agua. Técnicas de Muestreo. Integra las guías y técnicas de muestreo que son utilizadas con el objetivo de coleccionar los datos necesarios para la evaluación de la calidad del agua en aguas naturales, contaminadas y residuales (INEN, 2020)

INEN 2169:1998, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras para análisis. Permite establecer las condiciones y técnicas para el transporte, así como las precauciones para la conservación de todo tipo de muestras de agua que deben ser analizadas en laboratorio. (INEN, 2020)

INEN 0973:2011 Agua Potable Determinación del pH

INEN-ISO 748:2014-01 Hidrometría. Medida de caudal de líquidos en canales abiertos utilizando medidores de caudal o flotadores. Esta norma presenta la metodología para emplear medidores de caudal o flotadores para medir las velocidades de la corriente en canales abiertos, al determinar dicha velocidad y el área transversal del agua se puede determinar el caudal. (INEN, 2020)

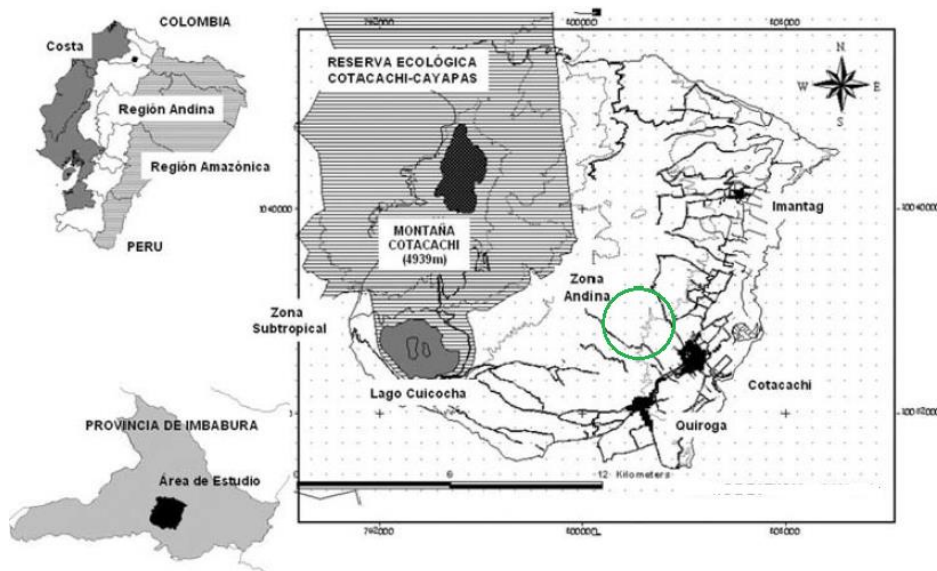
CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA

El área donde se establece el estudio se ubica en la Provincia de Imbabura siendo su capital la ciudad de Ibarra y cuyos cantones que integran esta provincia son: Otavalo, Cotacachi, Antonio Ante, Pimampiro y Urcuqui. La localización de la zona de estudio se puede ver en la figura 4.

FIGURA 4. ZONA DE ESTUDIO

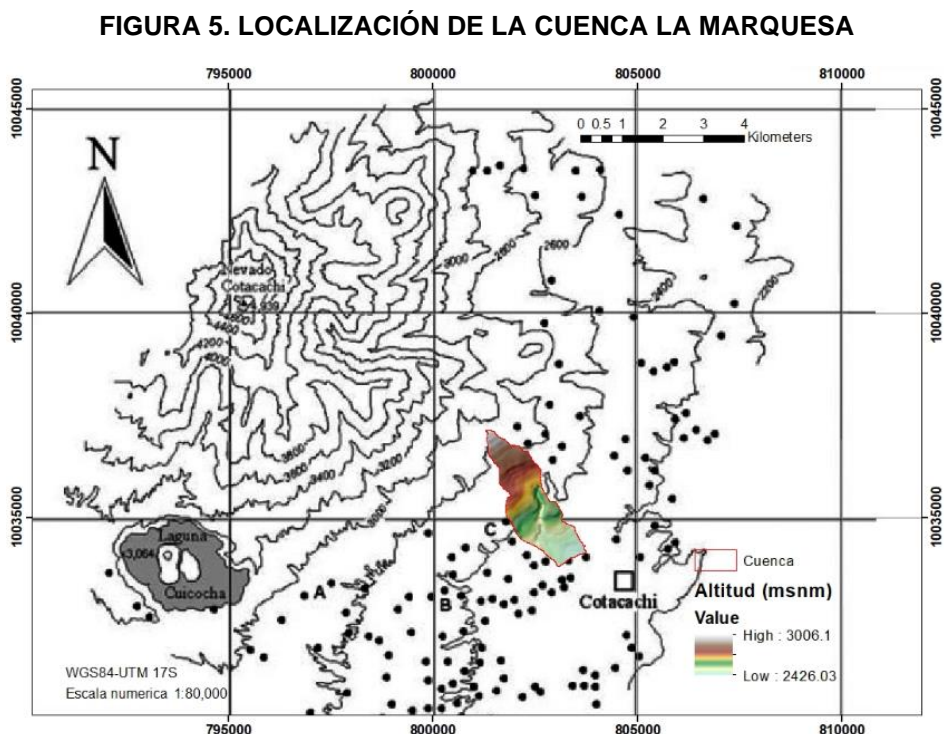


Fuente: (Rhoades, 2006)

El cantón Cotacachi ubicado al suroccidente de la Provincia de Imbabura, tiene el mismo nombre del complejo volcánico más significativo de la provincia, presenta una zona biofísica intertropical intermedia y una zona biofísica montañosa andina cuyas alturas aproximadamente van desde los 1600 msnm hasta los 3350 msnm respectivamente. (GADM Cotacachi, 2015)

La ciudad de Santa Ana de Cotacachi se ubica en la zona oriental del cantón, en la parte altoandina, teniendo un total de 40036 pobladores de acuerdo con el censo del año 2010 realizado por el INEC. Además de 18000 indígenas que forman parte de 40 comunidades distribuidas en las faldas del Volcán Mama Cotacachi cuya altura llega a 4993 msnm y que forma parte de la cosmología ancestral local.

Según la división político-administrativa del Ecuador la cuenca “La Marquesa”, se encuentra ubicada en la parroquia de El Sagrario, un poco al oeste de la ciudad de Cotacachi en las faldas del complejo volcánico Cotacachi-Cuicocha, como se ve en la figura 5.



Fuente: (Rhoades, 2006), IGM, GAD Cotacachi

Elaborado por: Sandoval O.

3.2 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

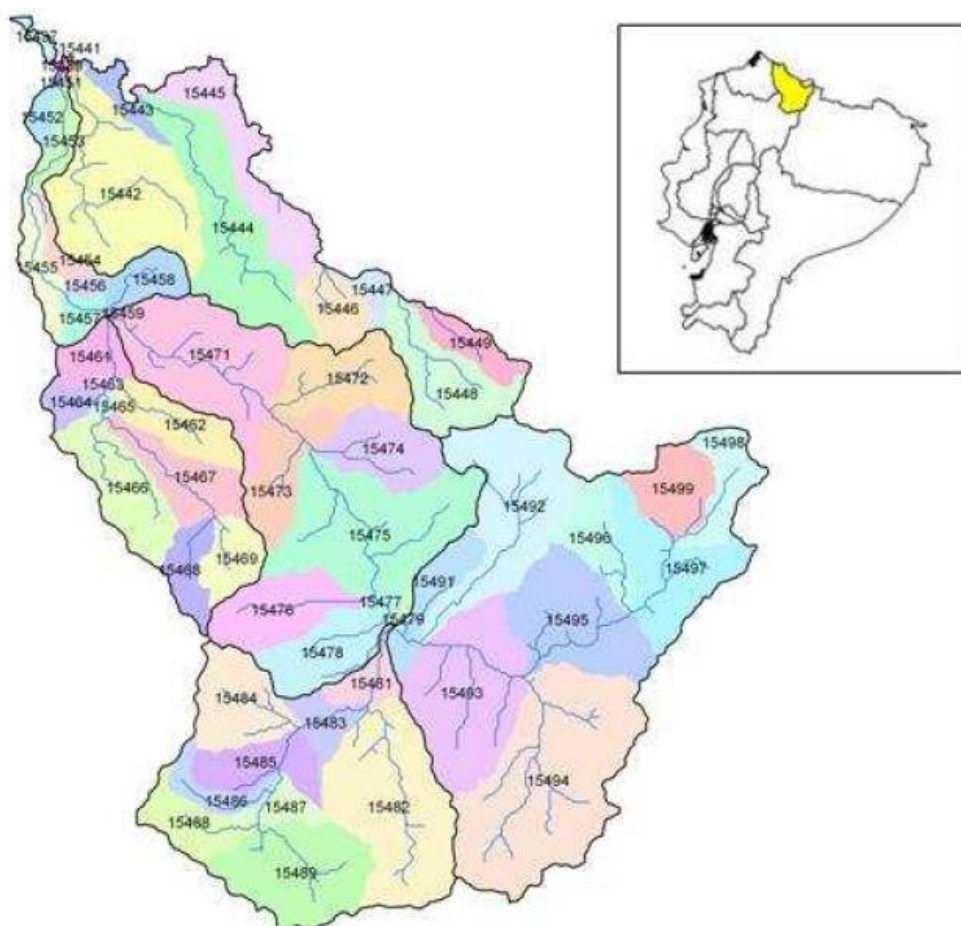
Para caracterizar y hacer una primera descripción de la cueca de estudio se analizó la delimitación y codificación de unidades hidrográficas en el Ecuador, la

misma que cuenta con procedimientos técnicos y operativos para el proceso de codificación y delimitación, basados en la metodología Pfastetter.

La metodología Pfastetter asigna identificadores a las unidades hidrográficas basado en su topología o área, es decir relaciona su unidad de drenaje con los sistemas de drenaje internos o colindantes.

Cada unidad hidrográfica tiene un código basado en la ubicación dentro del sistema de drenaje que ocupa, se usa un mínimo de dígitos, el número de estos representa el nivel en el que se encuentra dicha unidad. Las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos, o desde un sistema de drenaje en el océano. Como se muestra en la figura 6

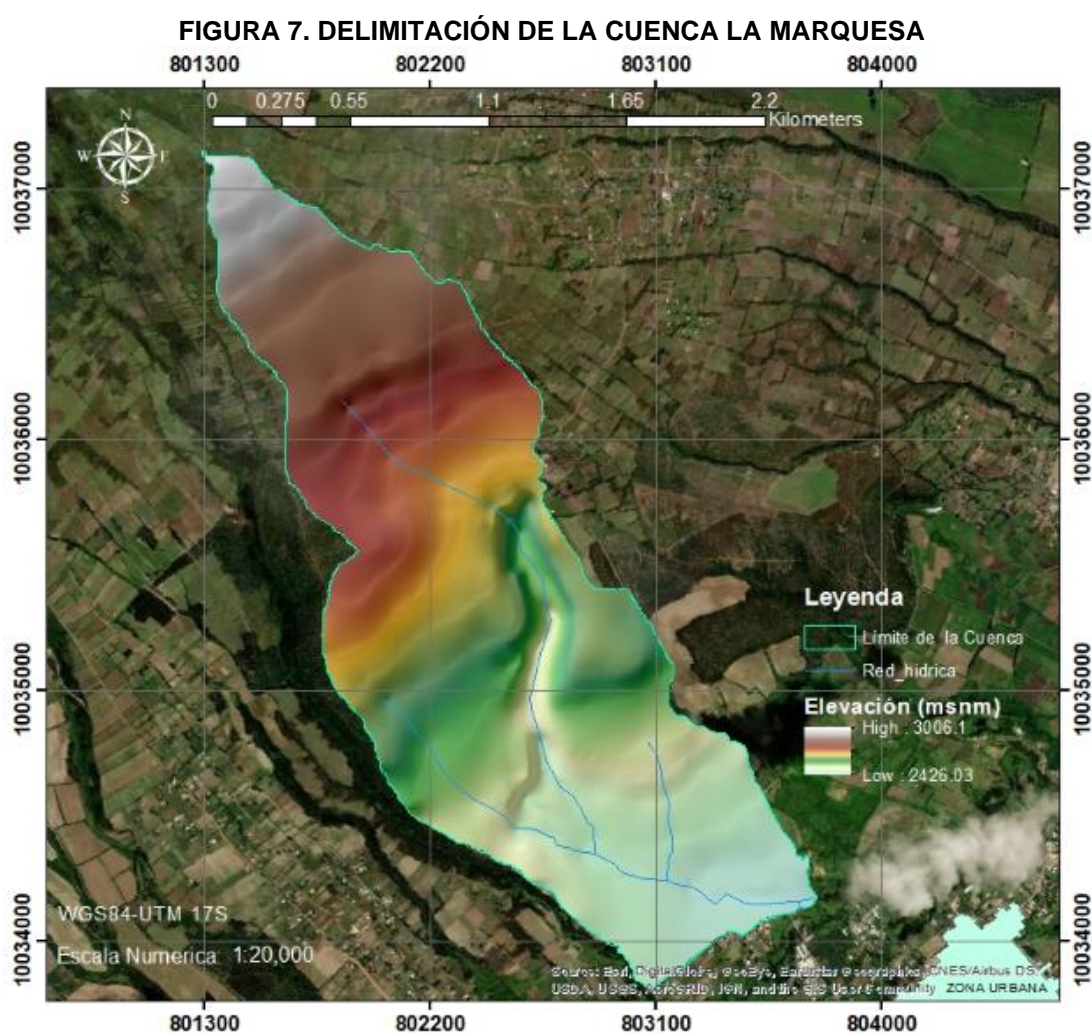
FIGURA 6. UNIDADES HIDROGRÁFICAS EN LA REGIÓN HIDROGRÁFICA 1 – U.H. 154. NIVEL 5



Fuente: SENAGUA 2009

La cuenca La Marquesa se encuentra en el grupo de unidades hidrográficas en el nivel 5 dentro de la unidad hidrográfica 154 y cuyo identificador de acuerdo con la metodología Pfastetter corresponde al código 15485, como se en la figura 6.

Se obtuvo la delimitación propuesta para la cuenca La Marquesa en la “Consultoría para elaborar e implementar un diseño hidrológico en la vertiente oriental del cerro Cotacachi” y el modelo de elevación digital facilitados por el GAD de Cotacachi además de la información hídrica de la región. Como se puede ver en la figura 7.



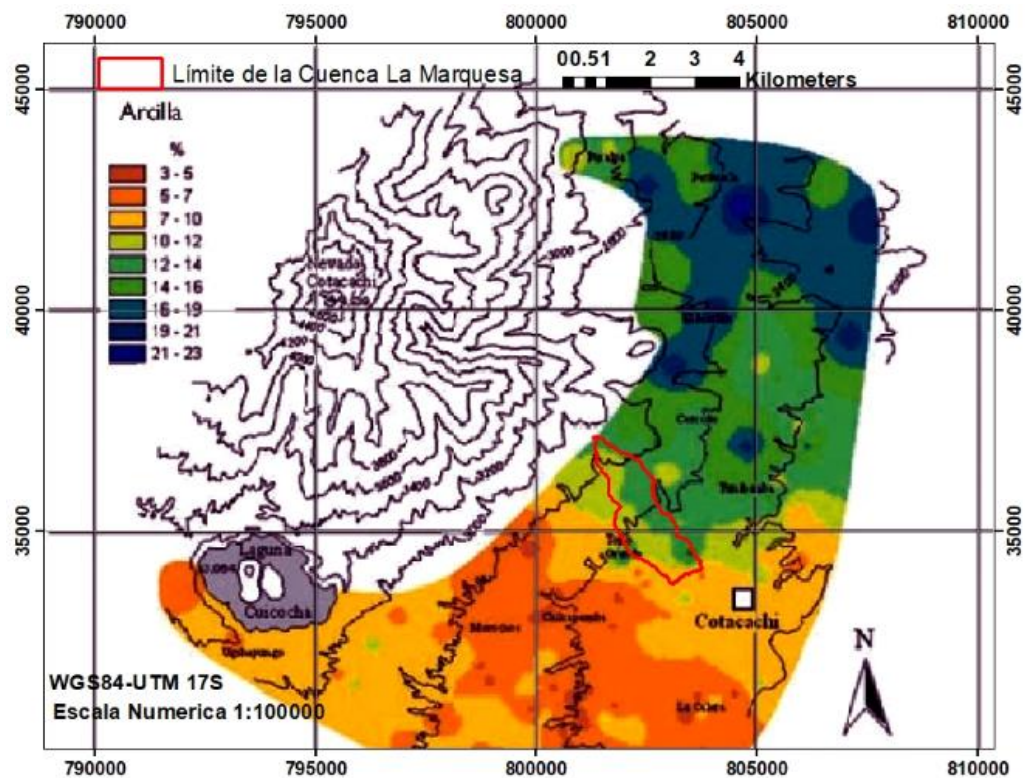
Fuente: IGM, GAD Cotacachi

Elaborado por: Sandoval O.

3.3 TEXTURA DEL SUELO

Esta característica está determinada por la variación del contenido de arena, limo y arcilla en otras palabras por la distribución del tamaño de partículas y puede clasificarse de fina a gruesa.

FIGURA 8. VALORES PORCENTUALES DE ARCILLA EN LA CUENCA LA MARQUESA



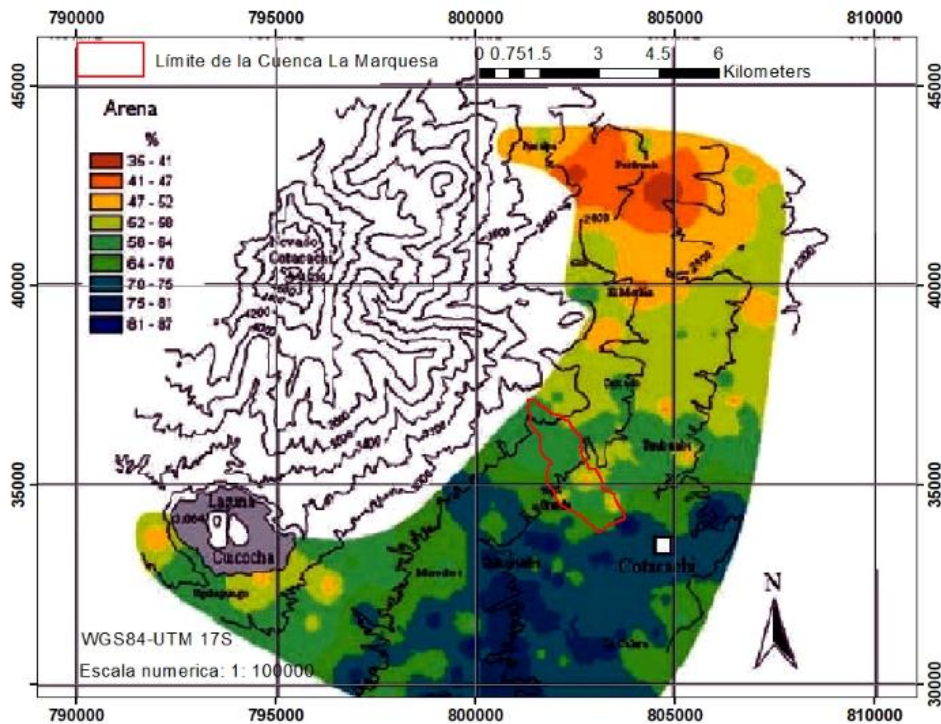
Fuente: IGM, IEEs

Elaborado por: Sandoval O.

La textura permite analizar características como: la velocidad con la que el agua penetra y atraviesa el suelo, la cantidad de agua y aire que este puede retener, entre otras.

La textura fina indica una mayor cantidad de partículas relativamente más pequeñas de limo y arcilla, la textura gruesa indica una elevada cantidad de arena, pueden obtenerse definiciones más precisas con metodologías estándar (FAO, 2008)

FIGURA 9. VALORES PORCENTUALES DE ARENA EN LA CUENCA LA MARQUESA



Fuente: Rhoades, 2006, IGM, IEEs,
Elaborado por: Sandoval O.

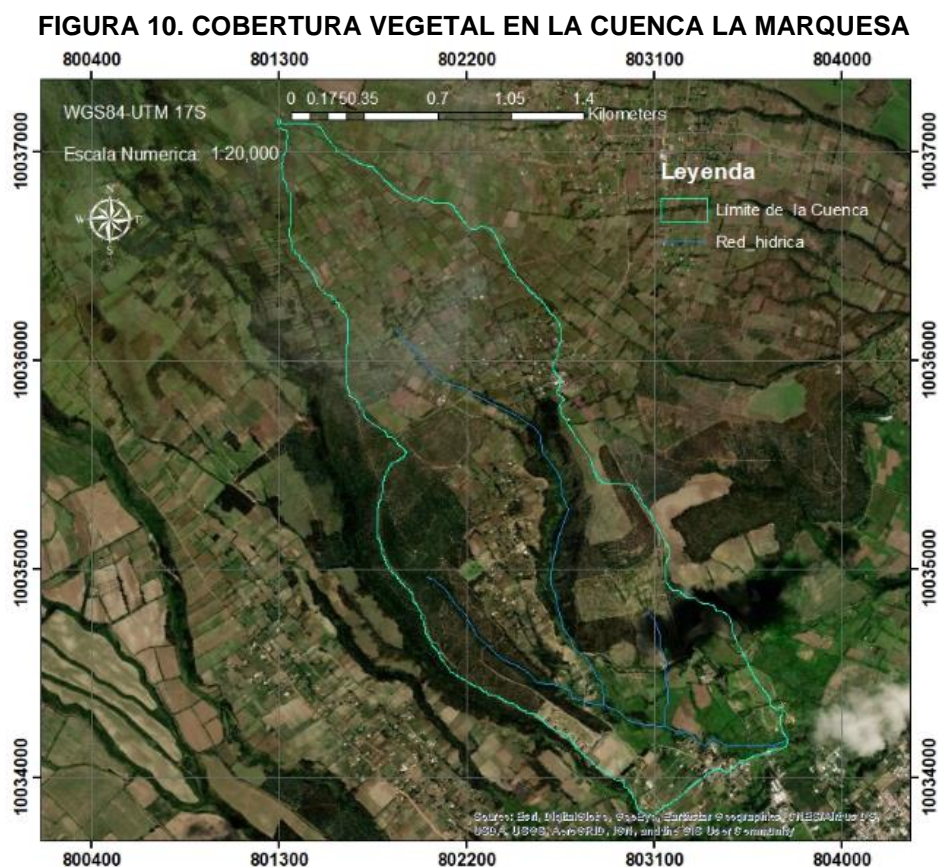
Los suelos dentro del complejo volcánico Cotacachi, presentan un elevado porcentaje de arena y bajo de arcilla, estas características los hacen fácilmente cultivables y no se compactan.

Sin embargo, los suelos que presentan un mayor porcentaje de arena y un bajo contenido de materia orgánica en elevaciones bajas contribuyen a su deficiente capacidad para captar agua disponible para las plantas y pueden perder nutrientes móviles como nitratos y potasio mediante lixiviación. (Rhoades, 2006) Esto se puede ver en las figuras 8 y 9 respectivamente.

3.4 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal dentro de la zona andina de Cotacachi presenta una alta intervención por actividades antropogénicas, la vegetación presente principalmente constituye bosque montano-bajo y matorral húmedo montano; bajo

los 3000 m se observa bosques introducidos de eucalipto, y cultivos. Existen en las quebradas y pendientes, matorrales y vegetación nativa que se desarrollan en áreas protegidas de la quema, la agricultura y el pastoreo. (Rhoades, 2006) Como se puede ver en la figura 10.



Fuente: IGM, MAGAP, GAD Imbabura, IEEs

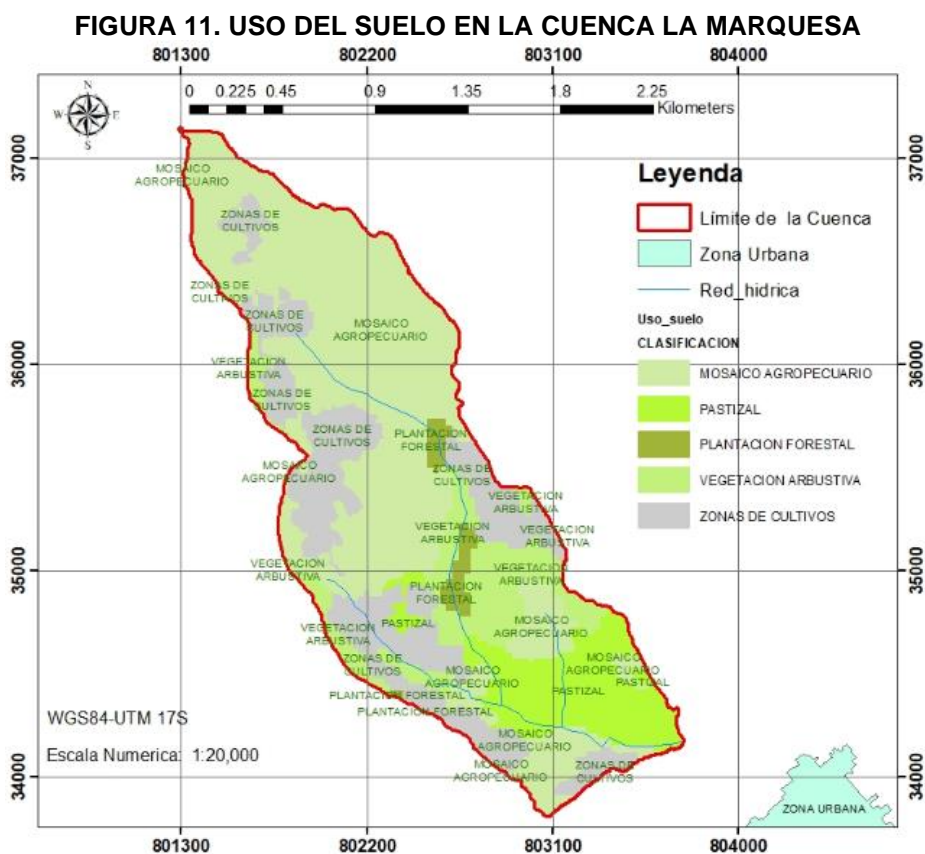
Elaborado: Sandoval O.

Dentro del territorio de la cuenca se observa principalmente, plantaciones de eucalipto ocupando zonas de recarga hídrica, taludes aluviales y zonas de importancia para la conservación; infraestructuras que constituyen las vías y los centros poblados de las tres comunidades; zonas de agricultura por parte de los pobladores en pequeñas parcelas de terreno.

Las comunidades de Azaya y San Pedro que se encuentran asentadas en las partes altas de la cuenca y al no contar con agua continua para riego, dependen de las lluvias para el ciclo productivo a diferencia de las comunidades que se

asientan en la parte baja de la cuenca como la comunidad de El Batán que dispone de agua para riego continuamente. (GAD IMBABURA, 2014)

3.5 USO DEL SUELO



Fuente: IGM, MAGAP, GAD Imbabura, IEEs

Elaborado por: Sandoval O.

Los usos y ocupación del suelo que se presentan en la cuenca La Marquesa son: Zonas de Agricultura Doméstica, Plantaciones Forestales, Vegetación Arbustiva, Áreas de Pastizales.

En el área de la cuenca La Marquesa se distinguen tanto zonas de agricultura las mismas que se desarrollan en pequeñas parcelas o en los límites de las propias casas se pueden encontrar cultivos como: maíz, frejol, hortalizas, trigo, cebada entre algunos cítricos que se desarrollan en climas templados.

Las haciendas ocupan una considerable extensión de terreno, siendo parte de estas los pastizales, cultivos de alfalfa y tomate de árbol entre otros productos locales, en la zona podemos distinguir matorrales y una cantidad considerables de árboles de eucalipto. (Flores, 2010)

Estas características se ven en la figura 11.

3.6 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Precipitación

Una de las características y variables climáticas más importantes que tienen relación directa en el desgaste del suelo es la precipitación, además la duración que manifiestan las lluvias, así como su intensidad y la frecuencia con las que se presentan influyen en el volumen y en la velocidad que se da la escorrentía en el suelo y hacia los cuerpos de agua.

La variabilidad de las precipitaciones en el área de análisis se pudo establecer en base a los datos anuales y mensuales obtenidos de la estación meteorológica Cotacachi (PV317)

Los valores representativos de las precipitaciones en la cuenca se obtuvieron de los anuarios meteorológicos y a partir de los mismos se presentan gráficamente tabulados en cuanto a la precipitación media anual y la precipitación media mensual, en las figuras 12 y 13, respectivamente.

TABLA 10. VALORES CARACTERÍSTICOS DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN (M317)

ESTACIÓN	Precipitación mensual (mm)			Precipitación anual (mm)		
	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN
Cotacachi (317)	576.1	112.4	0.4	2320.7	1348.9	716.7

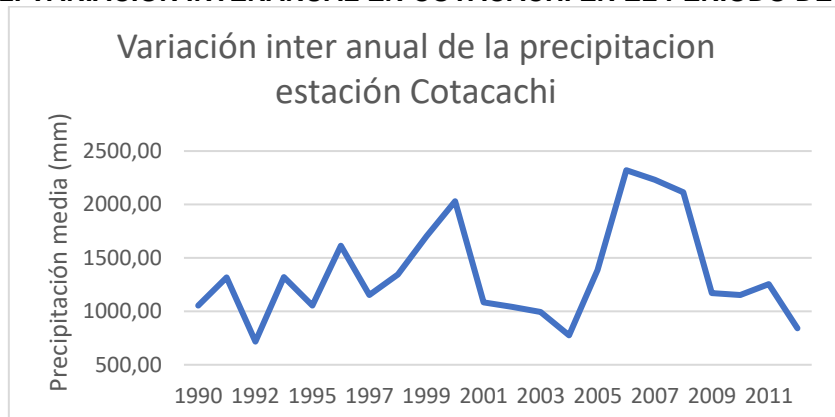
Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Estos valores nos proporcionan información acerca de los eventos de precipitación máximos, mínimos y el valor promedio, de pluviosidad, los mismos

que servirán para identificar eventos de sequía y descenso de la cantidad de agua en las zonas que dependan de agua de riego.

FIGURA 12. VARIACIÓN INTERANUAL EN COTACACHI EN EL PERIODO DE 1990 - 2012

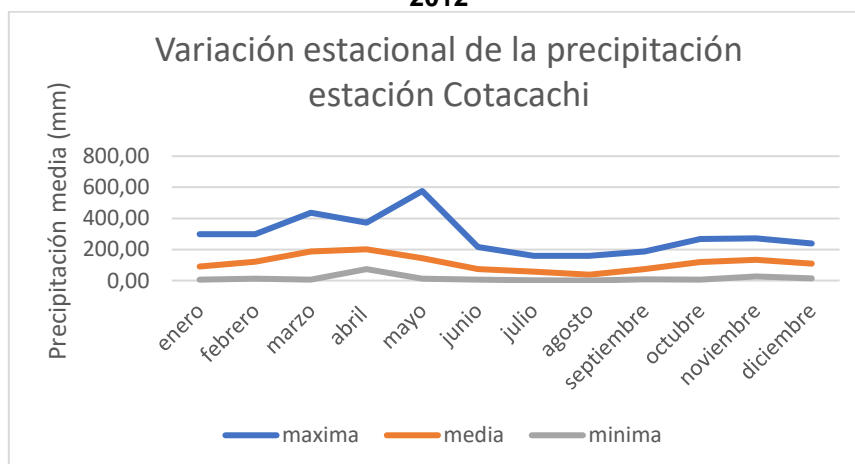


Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Las precipitaciones medias nos permiten ver el régimen pluvial en la zona y cuya tendencia es unimodal encontrándose en el mes de mayo su máximo valor de precipitación y en el periodo de septiembre a diciembre se manifiesta un ligero incremento de la precipitaciones generando un periodo semihúmedo sin alterar el régimen unimodal, entre los meses de Junio a Agosto se presenta una estación seca marcada, completando así el ciclo anual (GADM Cotacachi, 2016)

FIGURA 13. LLUVIAS PROMEDIO MENSUALES EN COTACACHI EN EL PERIODO DE 1990 - 2012

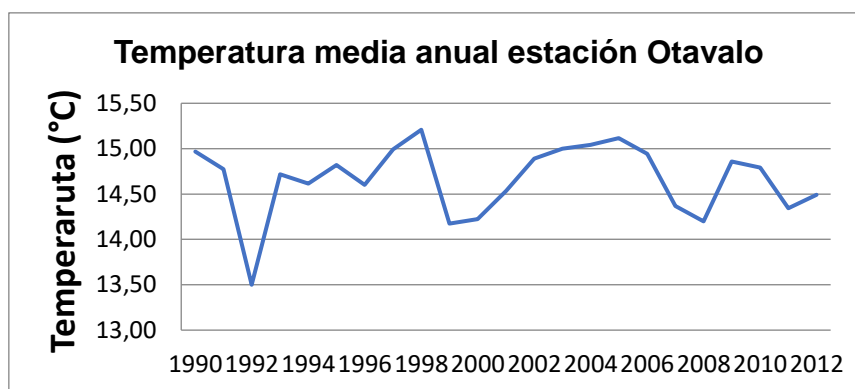


Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Temperatura. – Parta describir las variaciones de temperatura en la zona se consideran los datos obtenidos de la estación meteorológica Otavalo (CP105) sin embargo estos datos deben ser de referencia debido a la variación de la gradiente altitudinal aproximadamente de 600 metros de la cuenca La Marquesa. (GADM Cotacachi, 2016) Como se observa en la figura 14.

FIGURA 14. TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA ESTACIÓN (M105) DESDE 1990 A 2012



Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

3.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS

Generalmente en el análisis de las cuencas hidrológicas se procede a determinar variables y parámetros que caractericen algunos de los procesos hidrológicos más sobresalientes siendo estos parámetros características cuantitativas de la cuenca, las mismas que pueden describirse también con variables cualitativas que darán una descripción un poco abstracta de los fenómenos involucrados.

Algunas de estas características están en función de la morfología, los distintos aprovechamientos del suelo, la cubierta vegetal que posee el área de estudio y de sus características geológicas, siendo estos elementos físicos los que no permiten visualizar la variabilidad de los elementos hidrológicos en el espacio. (Monsalve, 1995) Se presenta algunas de las características físico-geográficas más relevantes como se pueden ver en la tabla 11, y se analizan cada una de ellas a continuación.

TABLA 11. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS DE LA CUENCA LA MARQUESA

Características Físico – Geográficas	
Área (Km ²)	3.25
Perímetro (Km)	10.0
Forma de la cuenca	
Coeficiente de compacidad (kc)	1.55
Factor de Forma (Kf)	0.13
Sistema de Drenaje	
Densidad de Drenaje (Dd)	1.54
Pendiente media del rio principal (p)	0.13
Extensión media de la escorrentía superficial	0.16
Relieve	
Pendiente de la Cuenca (S)	0.22
Pendiente de la corriente principal	0.079

Elaborado por: Sandoval O.

3.7.1 ÁREA DE DRENAJE

Representa la superficie plana, que corresponde a la proyección horizontal del parteaguas, incluida en su divisoria topográfica, se mide en Km² o ha.

La superficie correspondiente a la cuenca la Marquesa es igual a 3.25 Km² que corresponde a una cuenca muy pequeña.

3.7.2 PERÍMETRO

Corresponde al contorno exterior de la cuenca cuya distancia es determinada siguiendo la longitud de la línea divisoria de aguas. Se mide en Km.

El valor del perímetro en la cuenca La Marques es igual a 10 Km

3.7.3 FORMA DE LA CUENCA

Corresponde a la irregularidad de la cuenca siendo tan importante porque está relacionado directamente con el tiempo de acumulación que representa el tiempo que toma al iniciar las precipitaciones y su contribución desde las partes más alejadas de la cuenca y que confluyen a la sección del curso de agua que integra la totalidad de las aguas en su punto de salida o cierre de la cuenca.

El coeficiente de compacidad que determina la irregularidad será mayor cuanto mayor sea la irregularidad de la cuenca. (Monsalve, 1995)

Coeficiente de compacidad (Kc). – Representa la dependencia existente entre el perímetro de la cuenca y la longitud del perímetro de un círculo cuya área sea a igual a la de la cuenca.

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{EC. 1})$$

Donde:

Kc: Índice de Compacidad

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de drenaje de la cuenca (km²)

TABLA 12. ÍNDICE DE COMPACIDAD

Clase de Formas de Cuencas	(Kc)	Tendencia de Crecidas
De casi redonda a oval redonda	De 1.00 a 1.25	Alta
De oval redonda a oval oblonga	De 1.25 a 1.50	Media
De oval oblonga a rectangular oblonga	De 1.50 a 1.75	Baja

Fuente: (González & Valdiviezo, 1995)

Elaborado por: Sandoval O.

El *Kc* para la cuenca La Marquesa es igual a 1.55 por lo que se puede deducir que la irregularidad de la cuenca es de oval oblonga a rectangular oblonga teniendo proyecciones a crecidas baja.

Estos valores se obtuvieron en base a bibliografía y se muestran en la tabla 12.

Factor de Forma (Kf). – Corresponde a la dependencia entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. El ancho medio corresponde a la división del área por la longitud axial.

La longitud axial se evalúa al seguir el cuerpo de agua de mayor longitud tomando como origen el punto de descarga hasta la zona más alejada de la cuenca.

Factor de forma bajos indican menor posibilidad de crecientes que otra cuenca de igual superficie y factor de forma superior (Monsalve, 1995).

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (\text{EC. 2})$$

Donde:

Kf: Factor de forma

L: Longitud del cauce principal (km)

A: Área de drenaje de la cuenca (km²)

TABLA 13. FACTOR DE FORMA

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
> 0.22	Muy alargada
0.22 – 0.30	Alargada
0.30 – 0.37	Ligeramente Alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 – 0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60 – 0.80	Ensanchada
0.80 – 1.20	Muy Ensanchada
> 1.20	Rodeando el Desagüe

Fuente: (González & Valdiviezo, 1995)

Elaborado por: Sandoval O.

Kf en la cuenca La Marquesa es igual a 0.13 siendo este valor correspondiente a una cuenca muy alargada, por lo cual los volúmenes de descarga serán menores. Los diferentes valores interpretativos del factor de forma en base a bibliografía se presentan en la tabla 13.

3.7.4 SISTEMA DE DRENAJE

Orden de Drenaje. - Corresponde al río principal y a los tributarios de éste, que existen al interior de la cuenca. Esto se visualiza en la en la figura 15.

Al tener un único cauce el orden de la corriente de agua será de primer orden, si tiene aporte de un río tributario al cauce principal será de segundo orden y en cuanto más cauces se sumen al río principal incrementará el grado de bifurcación y el orden de las corrientes de agua (Aparicio, 1992).

Los cauces dentro de la cuenca La Marquesa son de segundo orden ya que el cauce principal presenta dos ríos tributarios en su camino hasta la desembocadura de la cuenca.



Fuente: GAD Cotacachi, IEEs

Elaborado por: Sandoval O.

Densidad de drenaje. – Se evalúa con la dependencia de la sumatoria de la longitud de los cuerpos hídricos para la superficie total de la cuenca

$$D_d = \frac{L_T}{A} \quad \text{EC. 3}$$

Donde:

D_d : Densidad de drenaje, (Km/Km²)

L_T : Longitud total de los cursos de agua, (Km)

A : Área de la cuenca, en (Km²)

Como se puede ver en la tabla 14 se caracteriza la cuenca en función de la densidad de drenaje para establecer qué tipo de drenaje presenta la cuenca La Marquesa en base a esta comparación.

TABLA 14. SISTEMA DE DRENAJE

Densidad de Drenaje (Km/Km ²)	Características de la cuenca
0.1 – 1.0	Regularmente Drenado
1.0 – 1.5	Normalmente Drenado
> 1.5	Bien Drenado

Fuente: (González & Valdiviezo, 1995)

Elaborado por: Sandoval O.

La densidad de drenaje en la Cuenca es de 1.54 por lo que presenta un sistema bien drenado, por lo que podría responder rápidamente a las precipitaciones que se den en el interior de la cuenca.

Pendiente media del río principal. - Siendo este un indicador muy importante ya que relaciona el grado de respuesta que tiene la cuenca a las precipitaciones, es igual a la diferencia de cotas de los extremos del río dividido para la longitud horizontal del río.

$$p = \frac{H}{L_H}$$

EC. 4

En donde:

p : Pendiente del río

H : Diferencia de cota máxima y mínima del río principal (Km)

L_H : Longitud horizontal del río principal (Km)

La pendiente media tiene un valor igual a 0.13 el mismo que al compararlo con los valores establecidos se concluye que el relieve del río corresponde a un tipo suave.

Como se puede ver en la tabla 15 se evalúan los rangos de la pendiente de la cuenca en base a las clases que se presentan y la pendiente media del cauce principal.

TABLA 15. RANGOS DE LA PENDIENTE MEDIA

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases
1 – 5	Suave
6 – 11	Moderado
12 – 17	Fuerte

Fuente: (Cordoba, 2016)

Elaborado por: Sandoval O.

Extensión media de la escorrentía superficial. - Corresponde a la longitud media que recorrería las precipitaciones en línea recta desde el punto de caída hasta un cauce dentro de la cuenca, suponiendo un sistema ideal en que la superficie de la cuenca pueda representarse como un rectángulo de igual área (Monsalve, 1995)

$$l = \frac{A}{4L_T}$$

EC. 5

Donde:

l : Longitud media de la escorrentía superficial, en Km

L_T : Longitud total de las corrientes de agua en la cuenca, en Km

A: Superficie de drenaje de la cuenca, en Km²

3.7.5 RELIEVE

Pendiente de la cuenca. - Corresponde a una variable de control de la velocidad de escurrimiento superficial y determina el tiempo de concentración de las precipitaciones en los ríos que forman parte del sistema de drenaje de la cuenca. (Monsalve, 1995)

Método a partir de las curvas de nivel

Una de las metodologías para determinar la pendiente media ponderada es el método a partir de las curvas de nivel, el cual relaciona la multiplicación de la longitud de todas las curvas de nivel por la diferencia consecutiva de cota entre curvas de nivel y este valor dividido entre el área total de la cuenca. (Monsalve, 1995)

$$S = \frac{D \times L_{Tc}}{A} \quad \text{EC. 6}$$

Donde:

S: Pendiente promedio de toda la cuenca, adimensional

D: Diferencia de cotas promedio entre las curvas de nivel, en Km.

L_{Tc} : Longitud total de todas las curvas de nivel en la cuenca, en Km

A: Área total de la cuenca en Km²

La pendiente media de la cuenca la Marquesa es igual a 0.22 por lo que su relieve es considerado de tipo llano, los valores para definir el tipo de relieve para las cuencas hidrográficas se pueden ver en la tabla 16.

Este índice influye en el tiempo de concentración y juntamente con la curva hipsométrica permite definir la pendiente que presenta la cuenca y su importancia en el tiempo de concentración y velocidad de escurrimiento serán bajos. (González & Valdiviezo, 1995)

TABLA 16. PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

Pendiente Media	Tipo de Relieve
0.2	Llano
0.5	Suave
10	Accidentado Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente Accidentado
50	Escarpado
≥ 50	Muy Escarpado

Fuente: (Cordoba, 2016)

Elaborado por: Sandoval O.

Curva Hipsométrica

Representa gráficamente el relieve de una cuenca, esta representación toma el valor de las cotas en el eje “y” en función del porcentaje de área acumulada, en el eje “x”; la curva hipsométrica nos proporciona la información del porcentaje de área acumulada igualada o superada para una elevación determinada. (Monsalve, 1995)

La curva hipsométrica nos permite definir características fisiográficas de las cuencas, se puede ver que esta curva representa el perfil de la cuenca y su pendiente media, en m/Km²; representando las superficies mayoritarias por encima de cada valor de las cotas en la cuenca. (Monsalve, 1995).

El cálculo de la curva hipsométrica y los diferentes parámetros utilizados, así como la representación gráfica de esta curva y la cota media se muestra en la tabla 17, y en la figura 16. respectivamente

TABLA 17. CÁLCULO DE LA CURVA HIP SOMÉTRICA

Cota (msnm)	Cota media (msnm)	Área (km ²)	Área acumulada	% de Área	% de Área acumulada	Cota*Área parcial
3006	2963	0.07	0.067	2.06	2.06	198.52
2920	2870	0.80	0.869	24.69	26.76	2301.74
2820	2770	0.79	1.668	24.59	51.36	2213.23
2720	2670	0.57	2.235	17.46	68.81	1513.89

CONTINUACIÓN TABLA 17

2620	2570	0.57	2.801	17.43	86.24	1454.62
2520	2480	0.36	3.163	11.15	97.38	897.76
2440	2433	0.09	3.248	2.61	100	206.81
2426						
suma		3.25				8786.57

Fuente: Almeida, 2010

Elaborado por: Sandoval O.

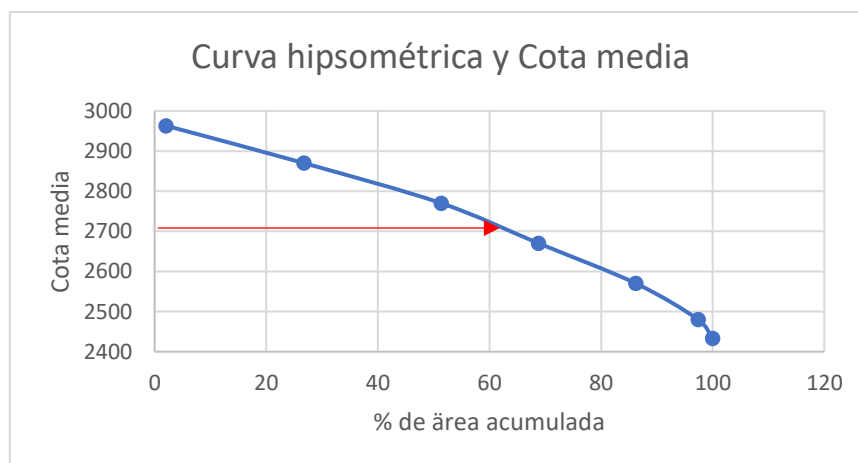
Cota media de la cuenca. - Representa la altura promedio o cota media dentro de la cuenca en msnm

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Cota media intervalo } i * \text{Área } i)}{\sum_{i=1}^n \text{Área } i}$$

EC. 7

$$E = \frac{8786.566}{3.248} = 2705.22 \text{ msnm}$$

FIGURA 16. CURVA HIPSONOMÉTRICA DE LA CUENCA LA MARQUESA

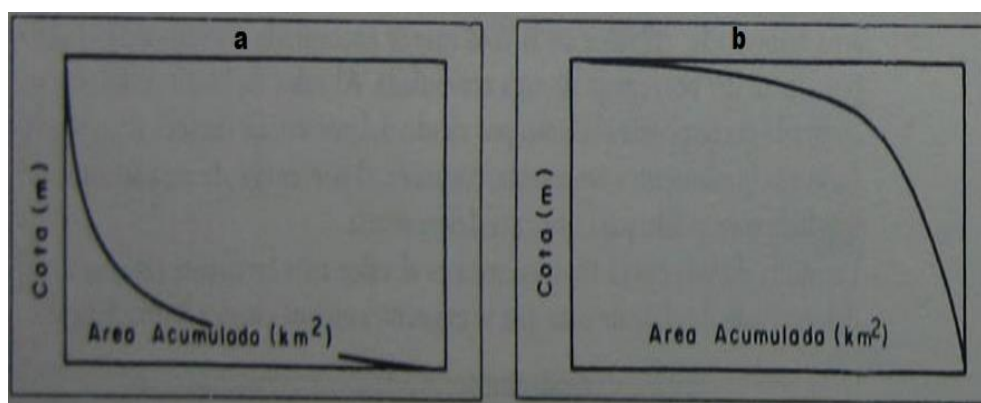


Elaborado por: Oscar Sandoval

Para nuestra cuenca el valor de la cota media es de 2705.22 msnm y representa el 50 % al valor del área de drenaje, además la representación de su curva hipsométrica representa una cuenca con valles profundos y sabanas planas.

Como se muestra en la Figura 17.

FIGURA 17. CURVA HIPSOMÉTRICA



Fuente: (Monsalve, 1995)

Pendiente de la corriente principal. - Esta característica está directamente relacionada con la velocidad de escurrimiento de los ríos dentro de la cuenca, permite estimar cuanto tiempo recorre el agua en el cuerpo de agua.

TABLA 18. CÁLCULO DE LA PENDIENTE DEL RIO

Cotas intervalo de clase (msnm)	Diferencia de cotas (m)	Distancia horizontal entre cotas l_i^* (m)	Distancia inclinada entre cotas l_i^{**} (m)	Distancia inclinada acumulada (m)	Pendiente por segmento S_i	S_i^2	$l_i^{**}/(S_i^2)$
2780	40	161.6	166.5	166.5	0.25	0.49	334.70
2740	50	329.9	333.7	500.2	0.15	0.38	857.04
2690	50	250.9	255.8	755.9	0.20	0.44	573.06
2640	50	94.1	106.6	862.5	0.53	0.72	146.16
2590	50	341.6	345.2	1207.7	0.15	0.38	902.19
2540	50	539.1	541.4	1749.2	0.09	0.30	1777.83
2490	50	829.3	830.8	2579.9	0.06	0.24	3383.23
2440	14	498.6	498.8	3078.7	0.03	0.16	2976.97
2426							
suma		3045.04	3078.73				10951.19

Fuente: Almeida, 2010
 Elaborado por: Sandoval O.

Para obtener la pendiente del cauce se aplica la siguiente formula:

$$S = \left(\frac{\sum l^{**}}{\sum \left(\frac{l^{**}}{Si^2} \right)} \right)^2 \quad \text{EC. 8}$$

En donde:

l^{**} : Distancia inclinada entre cotas

Si : Pendiente por segmento

$$s = \left(\frac{3078.73}{10951.192} \right)^2 = 0.079$$

El cauce principal de la cuenca la Marquesa corresponde a una pendiente moderadamente empinada ya que el porcentaje de la pendiente es 7.9%. Este índice nos permite visualizar cuanto le toma al agua recorrer por la extensión total del río en su perfil longitudinal. (Monsalve, 1995) Los datos requeridos y el cálculo se presentan en la tabla 18.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 RECOPIACIÓN, RELLENO Y VALIDACIÓN DE DATOS

El análisis de las series de datos se realiza en función de las recomendaciones de la IRD que para nuestro medio recomienda trabajar con un conjunto de valores de al menos 10 años, en tanto que la OMM recomienda hacerlo con al menos 30 años consecutivos. (Almeida, 2010)

Las variables meteorológicas, precipitación, temperatura se obtienen para cada una de las estaciones en los anuarios meteorológicos, los datos permiten hacer análisis temporales. (INAMHI, 2012)

4.1.1 ESTACIONES METEREOLÓGICAS

Una estación meteorológica se agrupa según con su instrumental y la función que cumplen, como se muestra en la tabla 18

TABLA 19. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

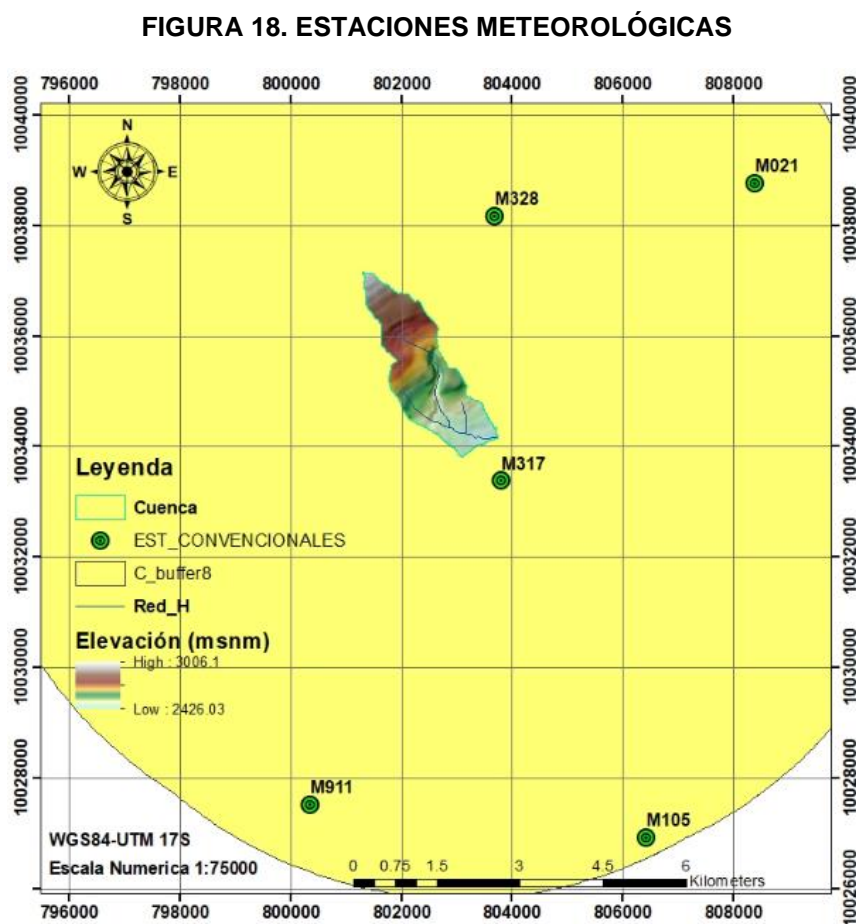
Código	Detalle
AP	Agrometeorológica
CP	Climatológica Principal
CO	Climatológica Ordinaria
CE	Climatológica Especial
AR	Aeronáutica
RS	Radio Sonda
PV	Pluviométrica
PG	Pluviográfica
PC	Plataforma Colectora de Datos
AU	Automática
AN	Anemógrafo

Fuente: INAMHI, 2012

Elaborado por: Sandoval O.

La distancia de las estaciones meteorológicas al área de estudio corresponde a longitudes menores a 10 Km, uno de los factores determinantes para definir el radio de acción de estas como se sugiere en la guía climatológica de la OMM. (Duque, Cajamarca, Wemple, & Delgado, 2019)

Se cuenta con estaciones externas a la cuenca que se encuentran distribuidas espacialmente en el radio alrededor del centroide de la cuenca como se puede ver en la Figura 18. (Ver Anexo 2, Mapa 1)



Fuente: INAMHI, SNI, GAD Cotacachi

Elaborado por: Sandoval O.

En la tabla 20, se describe el estado de funcionamiento, las coordenadas de localización, la proyección geográfica, el nombre, el código, el tipo y la entidad encargada de las estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca La Marquesa en la ciudad de Cotacachi.

TABLA 20. ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS AL ÁREA DE ESTUDIO

Código	Estación	TIPO	Entidad	WGS84-UTM 17S			Estado
				E	N	H	
M105	Otavalo	CP	INAMHI	803809	10033383	2550	A
M317	Cotacachi	PV	INAMHI	805884	10026560	2420	I
M021	Atuntaqui	PV	INAMHI	808388	10038764	2200	A
M108	Peribuela	CO	INAMHI	800310	10042050	2650	I
M328	Hda. La María	PV	INAMHI	803684	10038178	2600	A
M911	Rio Blanco	PV	INAMHI	800345	10027511	2550	I

Fuente: INAMHI, 2012

Elaborado por: Sandoval O.

Los datos obtenidos a nivel mensual y los resultados corresponden al procesamiento de las observaciones de las estaciones meteorológicas: Otavalo, Atuntaqui y Cotacachi, las estaciones: Peribuela, Rio Blanco y Hacienda La María se descartaron por no registrar datos o tener más del 60% de datos vacíos. En la tabla 21, se muestran los registros de las estaciones y años de análisis de los parámetros climáticos.

TABLA 21. REGISTRO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y ESTACIONES (1990-2012)

Estación	M105	M317	M021
Parámetro	Periodo de registro		
P. Diaria	1990-2012	1990-2012	1990-2012
T. media diaria	1990-2012	SR	SR
T. mínima diaria	1990-2012	SR	SR
T. máxima diaria	1990-2012	SR	SR

Fuente: INAMHI, 2012

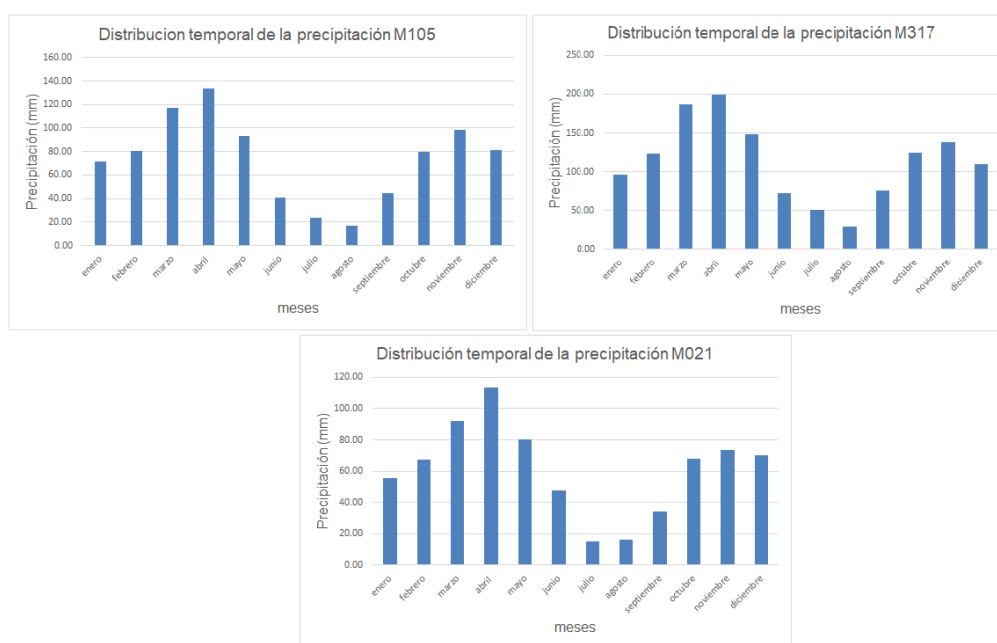
Elaborado por: Sandoval O.

Se creará el periodo de análisis agrupando las estaciones de acuerdo con su régimen de precipitación, si se evidencia la falta de valores, se realiza un análisis de confiabilidad y se las correlaciona seguido de esto se procede a rellenar los datos faltantes. (Quispe, 2017) Debido a las características propias de la zona no se encontraron registros de caudales por lo que únicamente se las agrupo en base a sus registros pluviográficos.

La variación de la precipitación en el tiempo y en el territorio, caracteriza y define el año hidrológico de acuerdo con un sistema usual de circulación atmosférica, el mismo que representa los meses de mayor y menor regímenes de precipitación en un lapso. Pueden presentarse dos patrones de lluvias, uno de ellos el régimen bimodal con dos puntos máximos y dos puntos mínimos de precipitación y el unimodal un pico de niveles mínimos y uno de valor máximo. (Samir, Zea, & Murillo, 2006)

Al analizar la variabilidad de las precipitaciones medias mensuales en las estaciones, se ve que presentan una distribución unimodal, siendo su época húmeda entre los meses de octubre a mayo y la época seca el resto del año, cambiando los meses en los cuales se produce las lluvias máximas promedio. Se ve en la figura 19, el régimen unimodal para las estaciones consideradas.

FIGURA 19. RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN UNIMODAL



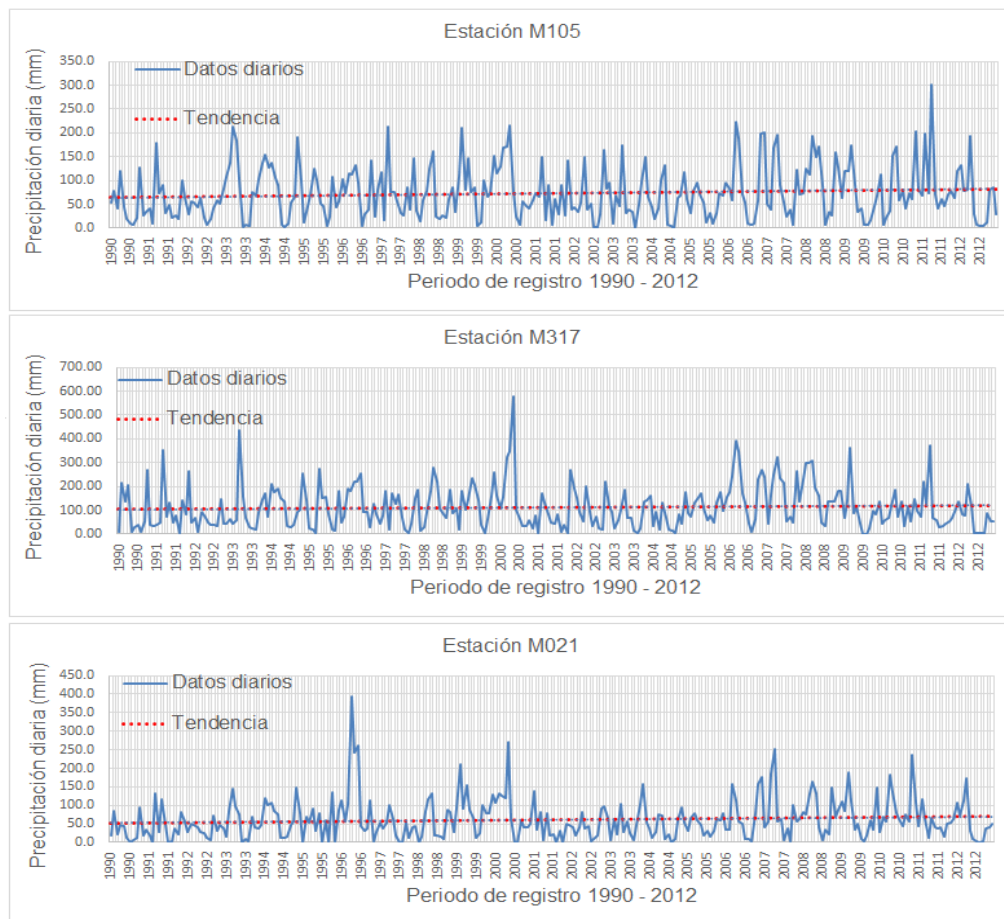
Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Se agrupan las estaciones meteorológicas: Otavalo, Cotacachi y Atuntaqui de acuerdo con el régimen de lluvias al no existir datos de caudal continuos y se considera el periodo de análisis de la serie de datos de 1990 a 2012.

Las series temporales presentan una característica en la que los datos evidencian cambios repetitivos y previsibles en el periodo de un año. Esta propiedad es conocida como estacionariedad. La serie se considera estacionaria si la línea de tendencia no presenta variaciones. (Quispe, 2017) Se observa en la figura 20.

FIGURA 20. VALORES MEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN



Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Al tabular los datos de las estaciones meteorológicas Cotacachi, Atuntaqui y Otavalo podemos identificar tanto el periodo de análisis, la cantidad de datos vacíos, los valores medio, mínimo, máximo la desviación estándar y si la información es o no estacionaria, la cual servirá para confirmar la validez de los datos y el uso de los valores de las estaciones analizadas, como se puede ver en la tabla 22.

TABLA 22. DATOS ESTADÍSTICOS DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA DIARIA

Estación	Periodo		Datos		% Vacíos	máx.	mín.	media	SD	S _t
	desde	hasta	llenos	vacíos						
M105	1990	2012	135	9	6.3	302	0.2	74	55	SI
M021	1990	2012	101	43	29.9	392	0	61.9	58.1	SI
M317	1990	2012	126	18	12.5	576	0.4	112.8	91	SI
M328	1990	2012	53	91	63.2	X	X	X	X	X
M108	1990	2012	SR	SR	X	X	X	X	X	X
M911	1990	2012	SR	SR	X	X	X	X	X	X

Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

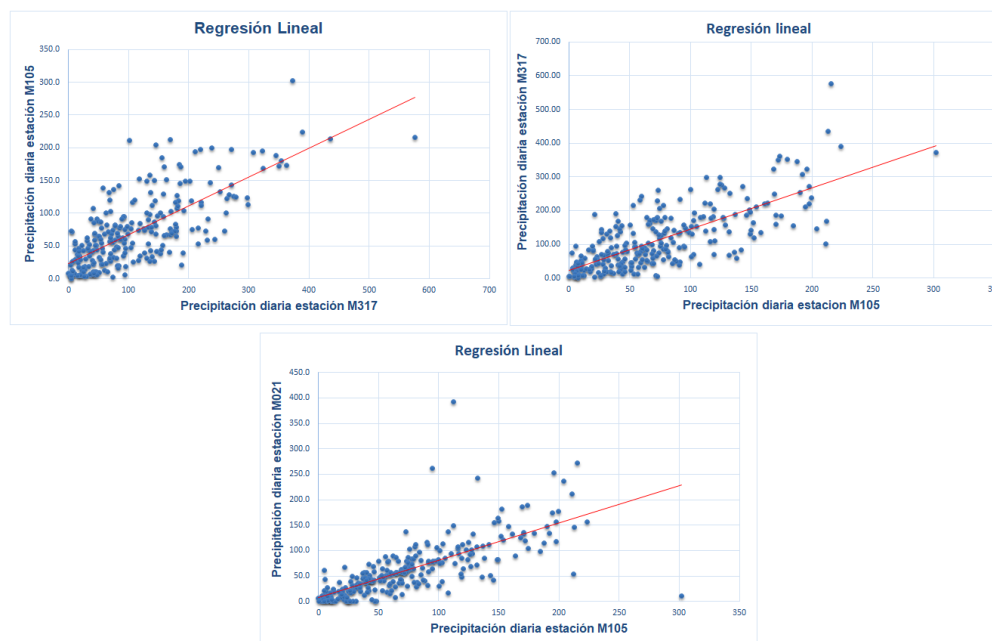
Relleno de la información

El cálculo de los datos faltantes se realizó a través del método de regresión correlación que permite facilitar su tabulación por medio de una gráfica de dispersión que supone una relación lineal en función de su coeficiente de correlación y suministra una expresión matemática que facilita el cálculo del valor de la variable en función de la estación de referencia. (Aparicio, 1992)

Mediante la metodología de regresión – correlación simple se analizó cada estación, se estableció la relación con la que mayor número de datos continuos posee en este caso la estación Otavalo (M105), la misma se tomó como referencia para definir las gráficas que determinan la relación lineal entre las estaciones Cotacachi (M317) y Atuntaqui (M021), como se ve para las tres estaciones consideradas en este estudio en la figura 21.

Si al determinar la correlación lineal simple se obtiene una ecuación con el valor del coeficiente de correlación mayor a 0.7 se puede concluir que los valores de las variables consideradas tienen un valor de correlación positiva de intensa a perfecta. (Carrera, y otros, 2016)

FIGURA 21. ANÁLISIS DE REGRESIÓN – CORRELACIÓN SIMPLE



Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Al utilizar el método gráfico de regresión – correlación simple se obtuvieron las ecuaciones para la línea de tendencia y el valor del coeficiente de correlación para cada una de las estaciones esto se ve en la tabla 23.

Se calcularon los datos faltantes para cada una de las estaciones meteorológicas haciendo uso de la expresión matemática respectiva y posteriormente se llenaron estos valores, al completar los datos de lluvia para el tiempo de estudio, se procedió a la validación de estos.

TABLA 23. REGRESIÓN LINEAL, ECUACIONES Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Estación	Referencia	Ecuación	R	Datos Rellenados
M105	M317	$y = 0.4406x + 23.431$	0.73	9
M317	M105	$y = 1.2028x + 25.373$	0.73	18
M021		$y = 0.7303x + 8.6566$	0.72	43

Elaborado por: Sandoval O.

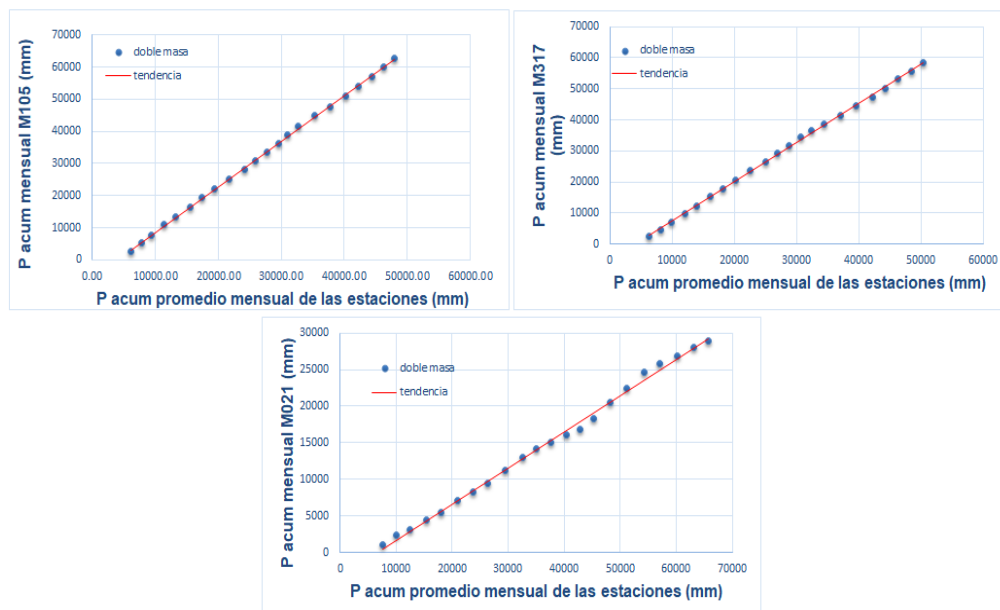
4.1.2 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La validación, el análisis de consistencia y la semejanza de los datos hidrometeorológicos se efectuó por el método de doble acumulación o masa, que permiten verificar alguna anomalía en los datos obtenidos. (González & Valdiviezo, 1995)

La función acumulada relaciona en las ordenadas los datos acumulados mensuales de la estación que se va a comprobar la estabilidad y exactitud de los datos y en las abscisas el valor acumulado medio de la estación o estaciones, con la ayuda de este gráfico se observa la relación existente entre las variables climáticas de estaciones cercanas. (CHOW, MAIDMENT, & MAYS, 1994)

Los valores estadísticos de la estación son homogéneos, si los puntos que representan los valores acumulados de precipitación se superponen y se localizan en una línea recta, si no es homogénea los valores deberán ser matemáticamente ajustados. (González & Valdiviezo, 1995)

FIGURA 22. CURVA DE DOBLE MASA



Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

En la Figura 22, se puede observar que las curvas de doble masa del grupo de estaciones son lineales lo que confirma así la homogeneidad de estos valores. Por lo tanto, se utilizará los datos de la estación Otavalo M317 para el relleno y la corrección de los datos de precipitación.

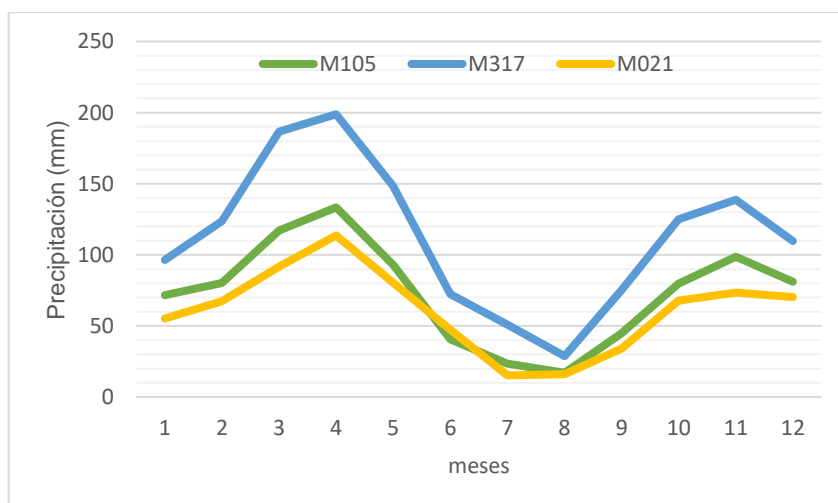
4.1.3 PRECIPITACIÓN

Las lluvias y la evaluación de sus características como la variación en el tiempo, su distribución espacial corresponden a algunos de los factores considerados para poder estimar y determinar el volumen de escorrentía, además de ser responsable de la modificación y erosión de los suelos. (FAO, 1985)

Variación en el tiempo de la precipitación

La variabilidad de los valores de lluvia media por mes de las estaciones M105, M021 y M317 en el periodo de análisis de 1990 al 2012, se ajustan a una distribución de precipitación unimodal, siendo el periodo seco entre los meses junio-septiembre, mientras que el periodo húmedo se da en el periodo de marzo-abril, se ve una ligera adición en octubre-noviembre, permaneciendo sin embargo su tendencia unimodal invariable como se ve en la figura 23.

FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA



Fuente: INAMHI

Elaborado por: Oscar Sandoval

A partir del análisis de las series de precipitaciones se identifica que ésta varía entre valores de 10 a 200 mm por mes. Además, se puede observar que los máximos niveles de lluvia se dan en la estación Cotacachi (M317) mientras que los mínimos valores se observan en la estación Atuntaqui (M021), como se ve en la tabla 24, los valores más representativos de la precipitación media mensual y anual para las estaciones.

TABLA 24. VALORES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL Y ANUAL

ESTACIÓN	P_mensual (mm)			P_anual (mm)		
	máx.	med.	mín.	máx.	med.	mín.
Otavalo (M105)	302	73	0	3262	2882	2522
Cotacachi (M317)	576	112	0	2320	1354	716
Atuntaqui (M021)	392	61	0	3423	2734	2383

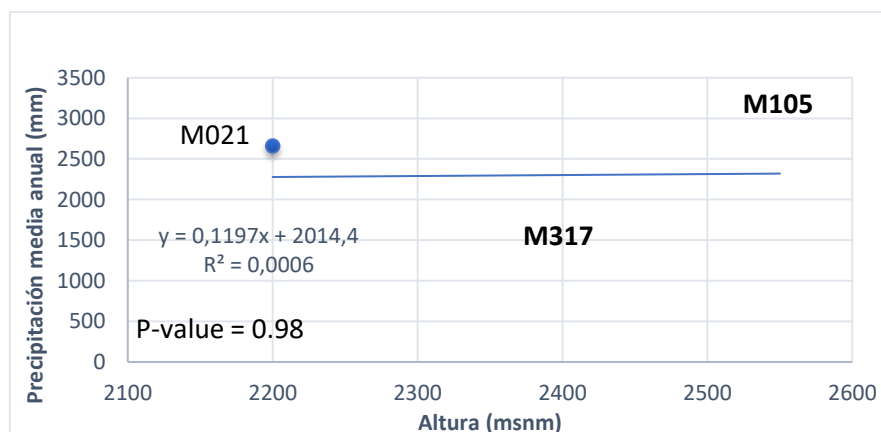
Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Variación de la precipitación con la altura

La variación de las lluvias anuales promedio anual de las tres estaciones en dependencia de la altura se ve en la Figura 24, presenta una dependencia muy baja o nula entre las variables analizadas, ya que el coeficiente de correlación (R) determinado a partir de la regresión lineal entre la precipitación y la altitud es igual 0.025 además se determinó el valor probabilístico obteniéndose un valor de 0.98.

FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LA PRECIPITACIÓN



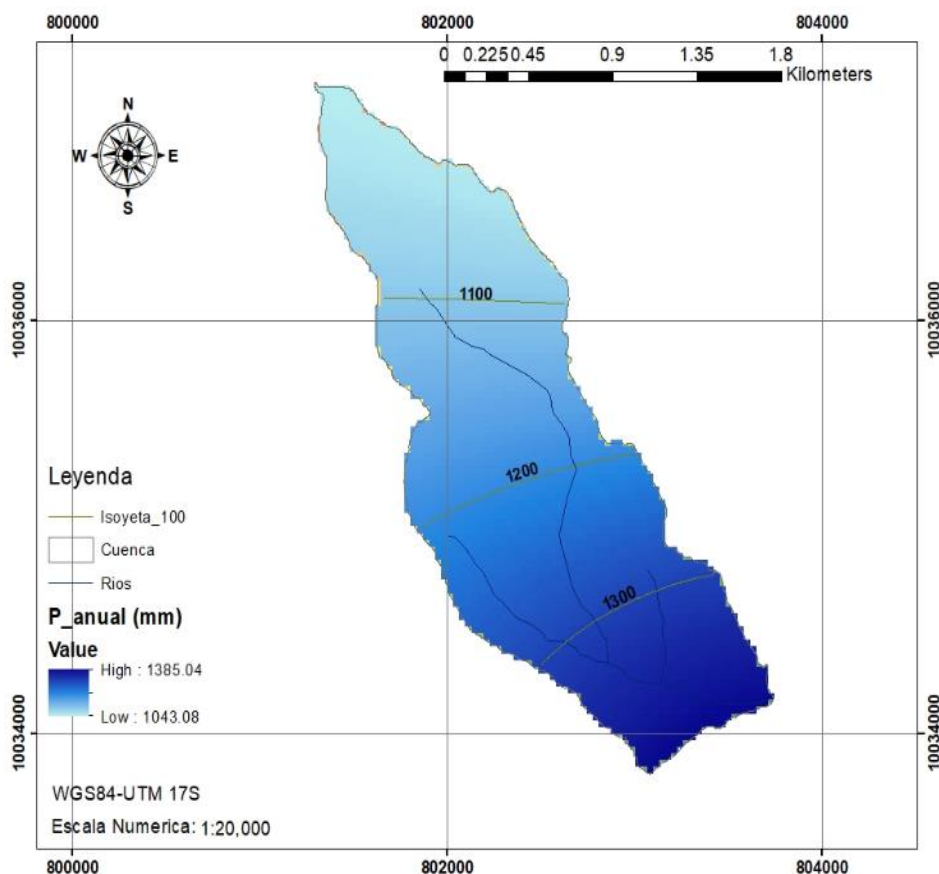
Elaborado por: Sandoval O.

Variación de la precipitación en el espacio

La representación de la precipitación en el espacio se realizó a través de la herramienta SIG de interpolación IDW (Inverse Distance Weigth), este método de interpolación determinístico asigna un valor mayor al punto más cercano y este valor decrece en función que aumenta la distancia dependiendo del coeficiente potencial. (Torres, 2018)

Se elaboró el patrón general que tienen las lluvias en la zona usando la información interanual de las isoyetas para el Ecuador en el periodo de 1980 a 2010, por lo que fue posible asignar valores de precipitación anual al conjunto de estaciones activas e inactivas y así poder tener valores de precipitación más factibles en la cuenca. (Ver Anexo 2, Mapa 2)

FIGURA 25. PRECIPITACIÓN MEDIA INTERANUAL IDW (ISOYETAS)



Fuente: IGM, INAMHI, GAD Cotacachi

Elaborado: Sandoval O.

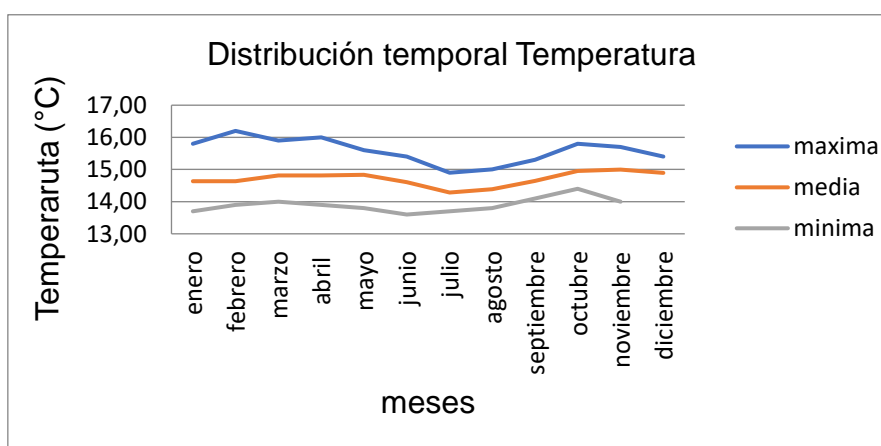
El comportamiento de las lluvias en la cuenca La Marquesa se puede definir al establecer la variabilidad en el territorio de las lluvias medias anuales, se observa que en la cuenca ocurren precipitaciones de alrededor de 1000 a 1380 mm anuales aproximadamente. Esta distribución se puede observar en la figura 25.

4.1.4 TEMPERATURA

La temperatura normalmente disminuye en la troposfera según la altitud, sin embargo, este descenso puede invertirse de acuerdo con las características predominantes de la atmosfera, la zona geográfica y las características de Relieve, este fenómeno es controlado por la ubicación del foco de calor de la radiación solar. (García, 1995)

La variabilidad de temperatura media, máxima y mínima mensual característicos de la estación Otavalo se muestran en la Figura 26, sin embargo, estos valores solo se tomarán como referencia ya que no se tienen registros de valores continuos de temperatura al interior o cercanos a la cuenca.

FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA ESTACIÓN (M105)



Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Los valores de temperatura mensual para la estación Otavalo se encuentran entre los valores de 13,5°C siendo ésta la más baja en el mes de junio y el mes de

febrero es el que presenta el valor más alto de temperatura 16.2°C. Se ve en la Tabla 25, los datos característicos de temperatura anual y mensual.

La cuenca La Marquesa posee variaciones altitudinales aproximadamente de 600 metros que producen variaciones de temperatura en el área de estudio. (GADM Cotacachi, 2016) Por lo tanto se hace uso de los datos de la Estación M105 para estimar los datos de temperatura y su variabilidad con la altura en el interior de la cuenca.

TABLA 25. VALORES CARACTERÍSTICOS DE TEMPERATURA

ESTACIÓN	Temperatura mensual (°C)			Temperatura anual (°C)		
	máx.	med.	mín.	máx.	med.	mín.
OTAVALO	16.2	14.7	13.5	15.3	14.7	14.0

Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

Variación de la temperatura con la altura

La temperatura en el concepto de la termodinámica caracteriza la energía calorífica presente en las moléculas de la atmosfera producto de la transformación de algunas longitudes de onda de las radiaciones electromagnéticas procedentes del sol. En la mayoría de los lugares el valor de la temperatura disminuye con la altura, algunos autores aceptan variaciones de 3 a 5 °C por cada 1000 metros que se ascienda o descienda en la altitud. (Comino, 2013)

El análisis de la temperatura puede estimarse a través del gradiente térmico vertical de temperatura, estas líneas representan funciones que relacionan las variaciones en los valores térmicos del aire en los diferentes niveles de altura. (González & Valdiviezo, 1995) Se puede hacer uso de la expresión matemática como se muestra:

$$T = Th \pm 0.6 \frac{h1-h2}{100} \quad \text{EC. 9}$$

Donde:

T: Temperatura media mensual estimada en la zona (°C).

T_h : Temperatura media, máxima y mínima mensual de la estación (°C).

h_1 : Altura de la estación (msnm).

h_2 : Altura media de la cuenca La Marquesa (msnm).

Usando los valores para la cuenca la Marquesa y los datos de la estación M105 se obtuvo la siguiente expresión para el gradiente térmico, el signo positivo significa que la cota media de la zona está más arriba de la altura de la estación meteorológica. Los resultados de la temperatura media estimados para la cuenca se determinan con la ecuación siguiente y se presentan en la Tabla 26.

$$T = T_h + 0.99$$

TABLA 26. ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA

Localización	M105	La Marquesa
Altitud media (msnm)	2550.0	2716.1
Mes	T media (°C)	T media (°C)
Enero	14.6	15.6
Febrero	14.6	15.6
Marzo	14.8	15.8
abril	14.8	15.8
Mayo	14.8	15.8
Junio	14.6	15.6
Julio	14.3	15.3
Agosto	14.4	15.4
Septiembre	14.6	15.6
Octubre	15.0	15.9
Noviembre	15.0	16.0
Diciembre	14.9	15.9

Fuente: INAMHI, Gonzales,1995

Elaborado por: Sandoval O.

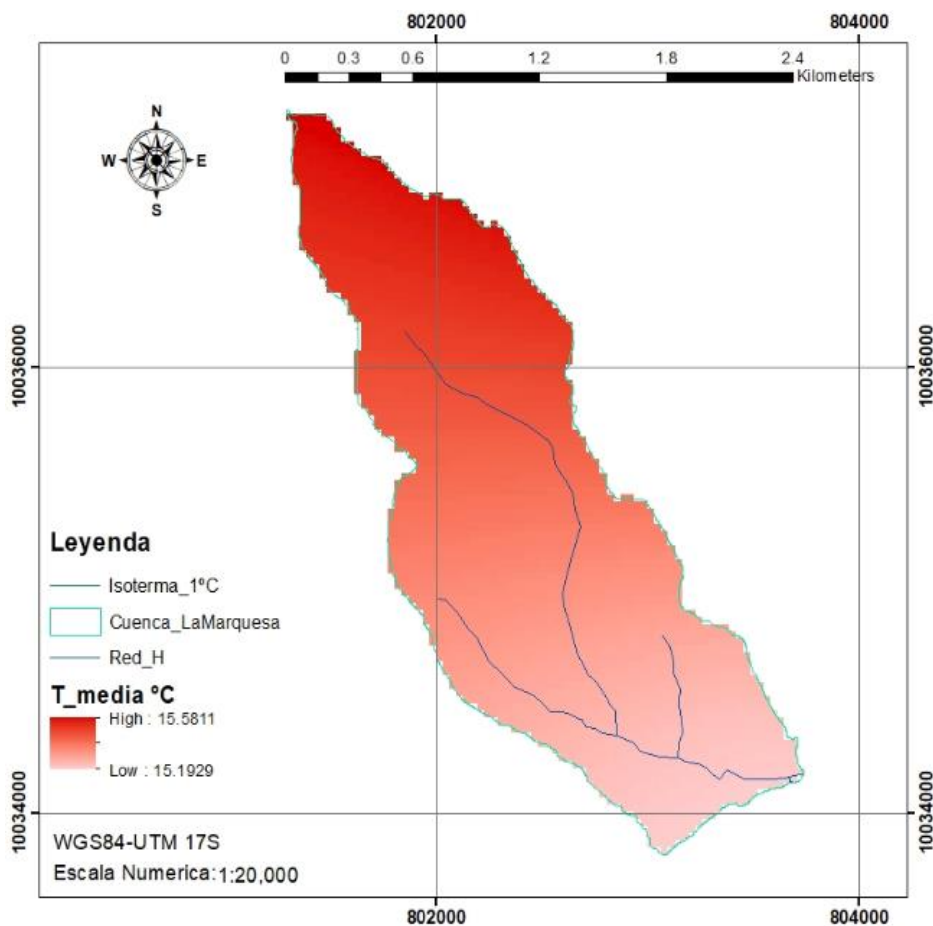
Distribución espacial de la Temperatura

Los rangos de temperatura en la cuenca La Marquesa se determinaron a partir de la interpolación (IDW) en el ambiente SIG, se usó la temperatura media anual correspondiente al ráster de las isotermas para todo el Ecuador obtenidos del INAMHI, a través de la interpolación de la temperatura en el sitio de estudio se

pudo asignar los valores correspondientes a las estaciones próximas a la zona de estudio y así establecer la temperatura media anual en la cuenca La Marquesa.

En la figura 27, se pueden observar los valores de temperatura media anual que predominan en el área de estudio y en la cuenca con rangos de temperatura dentro de ésta que van desde los 15°C a 15.5°C aproximadamente, estos valores se distribuyen de forma que en la parte alta de la cuenca se tienen los menores registros y los valores altos se encuentran en las zonas más bajas. Se muestran los datos de temperatura media anual para las estaciones próximas al área de estudio, resultado de la interpolación y extracción de los valores de las Isoyetas para todo el Ecuador. Como se ve en la tabla 27 (Ver Anexo 2, Mapa 3)

FIGURA 27. ISOTERMAS EN LA CUENCA LA MARQUESA



Fuente: IGM, INAMHI, GAD Cotacachi

Elaborado: Sandoval O.

TABLA 27. VALORES DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Código	Estación	Temperatura (°C)
M105	Otavalo	14.7
M317	Cotacachi	15.2
M021	Atuntaqui	15.7
M108	Peribuela	15.9
M328	Hda. La María	15.7
M911	Rio Blanco	14.5

Fuente: INAMHI

Elaborado por: Sandoval O.

4.1.5 HELIOFANÍA Y RADIACIÓN SOLAR DIRECTA

La heliofanía está determinada en horas y minutos de brillo solar, corresponde al tiempo que el sol brilla en un área específica, depende principalmente de la nubosidad de la zona ya que al ser una zona lluviosa tendrá mayor porcentaje de nubes y una pobre radiación solar lo que no ocurre si la zona es seca y no presenta nubosidad. (INAMHI, 2012)

La radiación solar corresponde a la energía solar promedio mensual y anual que se miden en una superficie horizontal de los valores diarios de insolación total, estos valores pueden obtenerse de los anuarios meteorológicos.

4.1.6 CAUDALES

El Ecuador no posee suficiente información hidrométrica por lo que se hace indispensable el uso de algunas ecuaciones para la estimación de los caudales, resultado de un análisis volumétrico, en este caso se hará uso de la precipitación media como parámetro para evaluar el coeficiente de escurrimiento de la cuenca. (Sandoval & Aguilera, 2014)

Las ecuaciones propuestas se validaron y fueron utilizadas en varios estudios en la determinación del balance hídrico y el cálculo de los parámetros hidrométricos en algunas cuencas importantes del Ecuador, las ecuaciones a usarse se presentan a continuación.

$$Q_o = \frac{31.71 * C \bar{P} A}{10^6} \quad \text{EC. 10}$$

Donde:

Q_o : Caudal medio (m³/s)

C : Coeficiente de escorrentía (1/s)

\bar{P} : Promedio de las precipitaciones (mm)

A : Área de la cuenca (Km²)

A partir de esta ecuación, el Módulo Específico de Escorrentía es:

$$M_o = \frac{Q_o}{A} = \frac{31.71 C \bar{P}}{10^6} \quad \text{EC. 11}$$

Y el Coeficiente de Escorrentía:

$$C = \frac{Q_o 10^6}{31.71 A \bar{P}}$$

$$C = \frac{M_o 10^6}{31.71 \bar{P}} \quad \text{EC. 12}$$

Donde:

M_o = Módulo del coeficiente de escorrentía, en (m³/s. Km²)

La cuenca de La Marquesa y sus afluentes se encuentran formando parte de la subcuenca del Río Ambi y sus ríos a la vez pertenecen a la demarcación hidrográfica del Río Mira. (Guachamin, Cadena, Carvajal, & Fernando, 2015)

El valor del módulo del coeficiente de escorrentía anual para el Ecuador se encuentra tabulado en el mapa de módulos específicos anuales. (Pourrut, 1995) como se ve en la figura 28.

Los valores de los módulos específicos para la cuenca La Marquesa se encuentran en el rango de 10 a 20 (l/sKm²) por lo tanto se determinó el valor medio para utilizarlo en el cálculo del valor del coeficiente de escurrimiento y en el cálculo del valor del caudal medio anual, como se ve en la tabla 28

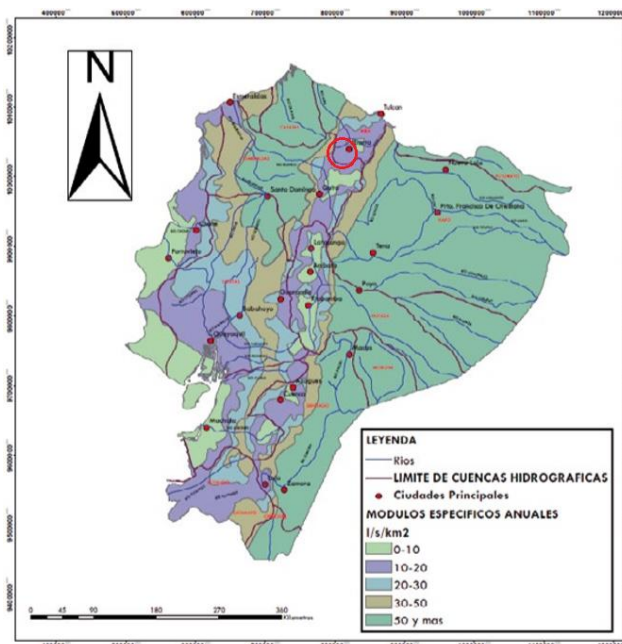
TABLA 28. ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES

Estación	Módulo del coeficiente de escorrentía (M_o) ($m^3/s.km^2$)	Coefficiente de escorrentía (C)	Área (km^2)	Caudal medio anual Q_o (m^3/s)
M105	0.015	0.16	3.25	0.05
M317	0.015	0.35	3.25	0.05
M201	0.015	0.18	3.25	0.05

Fuente: (Sandoval & Aguilera, 2014)

Elaborado por: Sandoval O.

FIGURA 28. MÓDULOS ESPECÍFICOS ANUALES DEL ECUADOR



Fuente: (Pourrut, 1995)

4.2 ESTIMACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO

4.2.1 GENERALIDADES

Entender las diferentes fases del ciclo hidrológico, permite hacer una correcta estimación del balance hidrológico como parte integral al evaluar los recursos hídricos dentro de una cuenca, normalmente el cálculo de estas variables se dificulta por la inexactitud de datos directos y por la variabilidad que presentan

parámetros como la precipitación, la evapotranspiración, la escorrentía e infiltración. (Ordoñez J. , 2011)

El procedimiento para la estimación del balance hidrológico cuenta de tres partes, la recopilación, corrección, validación y estimación de las variables climáticas, como segundo paso los procedimientos para calcular la evapotranspiración, y finalmente el balance hidrológico y cuyo análisis nos permitirá obtener valores de cantidad de agua o la oferta disponible de la cuenca.

En nuestro estudio se realizaron dos balance: hidrológico e hídrico superficial, sin considerar aportes de agua subterránea ni caudales ecológicos, además no se ha considerado en este estudio la influencia del cambio climático en la zona.

El balance hídrico nos permite obtener la disponibilidad de agua superficial que es igual a la oferta menos la demanda de agua de la cuenca, la demanda se la obtiene de todos los usos y aprovechamientos autorizados dentro de la cuenca de estudio y la oferta de agua como se mencionó a través de la estimación del balance hidrológico.

Se procedió hacer la estimación de la cantidad de agua a través de cálculos empíricos haciendo uso de los valores estimados de evapotranspiración por los métodos que se analizan en la siguiente sección como único parámetro de salida y como parámetro de entrada a la precipitación, y con ellos estimar la oferta hídrica.

También se cuantificó el caudal para los meses de junio y octubre, esto con el objetivo de relacionar el valor obtenido de la oferta teórica con el valor de caudal calculado experimentalmente en el campo.

El balance hidrológico también se desarrolló en el programa ArcGIS, a diferencia del método empírico, en el ambiente SIG se utilizó un ráster de isotermas a nivel nacional para poder asignarles valores de temperatura a las estaciones próximas y poder interpolar al área de estudio mediante el método IDW, este método también sirvió para realizar mapas de isoyetas tanto mensual como anual, y poder obtener los datos de precipitaciones media en la zona de estudio.

A partir de los ráster obtenidos de isoyetas e isotermas se pudo aplicar la metodología de Thornthwaite, a través de álgebra de mapas y su herramienta calculadora ráster para encontrar la diferencia entre precipitación y evapotranspiración y así determinar la cantidad de agua en la cuenca.

4.2.2 PRINCIPALES PARAMETROS CLIMATICOS

4.2.2.1 Precipitación

Las precipitaciones son originadas por una variación en la temperatura o en la presión el origen de estos eventos principalmente son las precipitaciones convectivas que se generan por el ascenso de aire caliente; las lluvias orográficas se forman cuando un volumen de aire húmedo choca contra una barrera montañosa obligándolas ascender y las precipitaciones ciclónicas se forman por los frentes ligados a una borrasca o ciclón. (Sanchez, 2020)

4.2.4.2 Escorrentía

La presencia y el movimiento del agua en la superficie del suelo corresponde a la escorrentía superficial esta se origina con el exceso de las precipitaciones que caen y se mueven libremente por o hacia un cauce, esta variable está relacionada de forma directa con: la intensidad de las lluvias, duración de las precipitaciones, la superficie de la cuenca, la permeabilidad del suelo así como de factores antrópicos como obras hidráulicas o movimientos de tierras. (Monsalve, 1995)

4.2.4.3 Infiltración

Esta variable constituye un proceso muy complejo que se describe matemáticamente de forma aproximada, y cuyo valor se obtiene por diferencia al conocer el valor de las precipitaciones y la escorrentía en una cuenca hidrográfica.

El proceso de infiltración corresponde al paso del volumen de agua originado en las precipitaciones, las mismas que descienden hacia el suelo y el subsuelo

desde la superficie, algunas de las características que alteran este fenómeno son: los usos de los suelos y su cobertura vegetal así como otros parámetros particulares del de suelo como tamaño de partícula, contenido de agua, la conductividad hidráulica. (CHOW, MAIDMENT, & MAYS, 1994)

4.2.4.4 Evapotranspiración

La evapotranspiración equivale al total de agua que pasa a estado de vapor desde el suelo y por la transpiración a través de los estomas de las hojas de la cobertura vegetal reinante en la zona hacia la atmosfera. Las principales variables que influyen en este fenómeno son la cantidad de luz solar, el valor de la temperatura en las moléculas de aire, presión de vapor, humedad del aire, viento entre otras. (Ordoñez J. , 2011)

Manejo de Datos

Entre las variables climáticas utilizadas en las distintas metodologías para la determinación de la evapotranspiración potencial, en nuestro estudio se ocupó los valores de precipitación con registro de 22 años de las estaciones antes mencionadas los mismos datos que con el uso de herramientas geoestadísticas, se aplicó la técnica de Isoyetas, este método nos ayudó a establecer la precipitación media dentro del área de la cuenca.

Esta metodología se basa en la unión de varios puntos de similar altura de precipitaciones registradas en las estaciones utilizadas. (Aparicio, 1992)

En relación con la temperatura, los datos que se analizaron son las temperaturas medias mensuales, temperatura máxima y mínima absolutas para el rango de 22 años de la estación Otavalo (M105), la única que cuenta con registros continuos de esta variable.

Y finalmente los diferentes valores de las constantes y variables utilizados en los procedimientos de evapotranspiración comprenden valores tabulados en bibliografía y descargados de los productos MODIS16A.

4.3 METODOS PARA LA ESTIMACIÓN REAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

4.3.1 ECUACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO

La expresión matemática del balance hidrológico o conocida como la ecuación de continuidad es la metodología que enuncia: los valores de entrada menos los valores de salida son igual al cambio de almacenamiento de agua al interior de la cuenca. (Monsalve, 1995)

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{EC. 13}$$

Donde:

I: Entradas

O: Salidas

$\frac{\Delta S}{\Delta t}$: Cambio de Almacenamiento

Cuando el balance hidrológico es realizado a nivel multianual o mensual, se considera que los cambios en el almacenamiento del agua es cero ya que se asume que la variabilidad del agua almacenada para estos periodos no sufre cambios significativos, además la infiltración en estos periodos de tiempo puede ser considerada cero en la ecuación de balance hidrológico. (Ordoñez J. , 2011)

Entre las entradas (*I*) podemos tener: escorrentía superficial, precipitación, trasvases y aguas subterráneas de otra cuenca, así como para las salidas (*O*) se tiene: la evapotranspiración, escorrentía superficial, infiltración y aguas subterráneas a otras cuencas, el almacenamiento puede considerarse tanto como humedad en el suelo como el almacenamiento de aguas subterráneas. (Aparicio, 1992)

Ante la carencia de valores de las variables que normalmente son usadas en los diferentes cálculos de la oferta de agua, en nuestro estudio se ocupó dos variables en la ecuación del balance, la precipitación como única variable de

entrada y la evapotranspiración como única variable de salida y se expresa de la siguiente manera

$$P - ET = \text{Escorrentía (E)} \quad \text{EC. 14}$$

Donde:

P : Precipitación media anual (mm/año)

ET : Evapotranspiración (mm/año)

Ea : Escorrentía

4.3.2 METODO DE TORNTHTWAITE

Esta ecuación relaciona en sus cálculos dos factores: la temperatura media anual y la latitud que introduce el valor teórico de la insolación en su factor de corrección en función del mes y la latitud, con esta operación se determina la evapotranspiración potencial para cada mes y con la suma el valor anual. (UNESCO, 1982)

La ecuación de Thornthwaite es la siguiente:

$$E_j = \left(\frac{10t_j}{I} \right)^a * 1,62 \quad \text{EC. 15}$$

Donde:

E_j : Evapotranspiración potencial mensual no ajustada (cm/mes)

t_j : Temperatura media mensual del mes j (°C)

I : Índice de calor

$$I = \sum_{t=1}^{12} t_j \quad \text{EC. 16}$$

$$t_j = \left(\frac{t_j}{5} \right)^{1,514} \quad \text{EC. 17}$$

$$a = 0.675 * 10^{-6} I^3 - 0.771 * 10^{-4} I^2 + 1.792 * 10^{-2} * I + 0.492 \quad \text{EC. 18}$$

$$E_o = E_j * k$$

EC. 19

Donde:

E_o : Evapotranspiración potencial mensual corregida (cm/mes)

E_j : Evapotranspiración potencial mensual no ajustada (cm/mes)

k : Factor de corrección

TABLA 29. FACTOR DE CORRECCIÓN K PARA LA ZONA ECUATORIAL

Latitud	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Ecuador	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04

Fuente: (Monsalve, 1995)

Al aplicar la metodología de Thornthwaite se construye la tabla 30, que muestra por mes todos los valores de: precipitación, temperatura, y las variables que se usaron en este método, también se presenta el valor de la evapotranspiración real, que se obtuvo al aplicar la fórmula de Budyko.

TABLA 30. MÉTODO DE THORNTHWAITTE

Datos	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P (mm)	96	124	187	199	149	72	51	29	75	125	139	110
T(°C)	14.6	14.6	14.8	14.8	14.8	14.6	14.3	14.4	14.6	14.9	15.0	14.9
k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
i_j	5.09	5.08	5.18	5.18	5.19	5.07	4.90	4.95	5.09	5.25	5.28	5.22
l	61.47											
a	1.46											
E_j (cm/mes)	5.74	5.74	5.85	5.85	5.86	5.73	5.54	5.60	5.75	5.93	5.95	5.89
E_o (mm/mes)	59.8	53.9	60.8	59.1	60.9	57.9	57.7	58.3	58.1	61.7	60.1	61.3
ET (mm/mes)	44.5	43.8	51.9	51.1	49.9	39.8	34.6	24.9	40.5	48.7	48.8	46.9

Elaborado por: Sandoval O.

4.3.3 MÉTODO DE HARGREAVES

La expresión de Hargreaves y Samani, al evaluar la evapotranspiración potencial hace uso de los valores de temperatura y radiación solar, la ecuación general es la que se presenta a continuación. (Ordoñez J. , 2011)

$$ETP = 0,0023(T_{med} + 17,78)Ro * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad \text{EC. 20}$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

T_{med}: Temperatura media diaria, (°C)

Ro: Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada)

t_{max}: Temperatura máxima absoluta diaria (°C)

t_{min}: Temperatura mínima absoluta diaria (°C)

Al utilizar la expresión de Hargreaves se construye la tabla 31, que indica las diferentes variables usadas en esta metodología. Los valores de la radiación solar extraterrestre cuyos datos se presentan en mm/día se obtuvieron de la aplicación en algunos estudios y apuntes de hidrología e hidrogeología. (Sánchez, 2020), también se presenta la evapotranspiración real, que se obtuvo al utilizar la expresión de Budyko, cuyo cálculo se desarrolla y explica más adelante, en el subcapítulo 4.3.5

TABLA 31. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE HARGREAVES

Datos	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
T máx. (°C)	26	27	29	27	27	26	26	26	27	31	27	28
T mín. (°C)	0.2	0.2	2.0	2.8	2.5	1.5	1.0	1.2	1.4	1.0	1.8	2.1
T med. (°C)	15	15	15	15	15	15	14	14	15	15	15	15
Ro (mm/día)	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5
ETP (mm/día)	5.6	5.9	6.1	5.5	5.2	4.9	5.0	5.4	5.7	6.3	5.6	5.6
Días	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ETo (mm/mes)	174	171	189	164	162	149	156	167	170	196	166	172
ET (mm/mes)	81	93	119	112	99	63	49	29	68	99	97	87

Elaborado por: Sandoval, O.

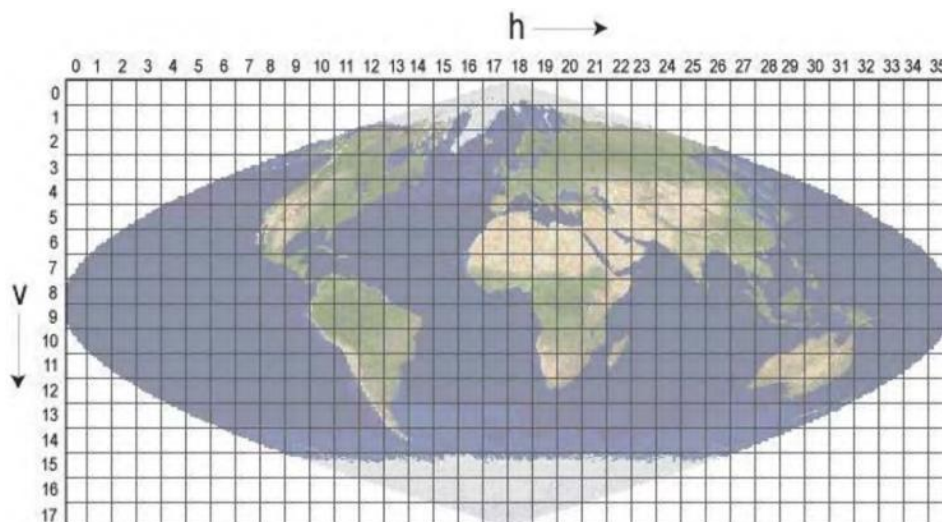
4.3.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL POR SATÉLITE (MODIS 16 A)

MODIS16A es un sensor que opera en las plataformas satelitales parte del proyecto NASA/EOS, Los datos de evapotranspiración global terrestre son estimados a partir del uso de satélites remotos de detección, estos valores son transmitidos hacia estaciones terrestres y posteriormente hacia un sistema de

datos y operaciones. (Running, Mu, Zhao, & Moreno, 2018) MODIS16 proporcionan imágenes en formato ráster, estos datos son definidos a través de un algoritmo mejorado basado en la ecuación de Penman-Monteith. (Guerra, 2019)

Algunos proyectos desarrollados en la Escuela Politécnica Nacional, como (Quishpe, 2017; Torres, 2018; Guerra, 2019) han utilizado estos productos en los mismos que hacen referencia al sensor MODIS16 como una fuente de datos de evapotranspiración dentro de zonas de estudio en el Ecuador, correspondientes a los cuadrantes h10v09 y h10v8 los cuales cubren la mayor área del Ecuador. Como se puede ver en la Figura 29.

FIGURA 29. ORGANIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS MODIS EN TILES



Fuente: (Torres, 2018)

El conjunto de imágenes puede ser descargadas en la plataforma web de la Universidad de Montana – Grupo de Simulación Terradinámica Numérica, en la siguiente página: <https://www.ntsg.umt.edu/project/modis/mod16.php>.

Para nuestro estudio se disponen de datos anuales (MODIS16A3) y mensuales (MODIS16A2) del 2000 al 2012, estos valores fueron procesados a través del software ArcGIS 10.5 para poder determinar la evapotranspiración potencial en la cuenca de estudio y posteriormente fueron utilizados para contrastar con los valores teóricos obtenidos, además representan los valores medios mensuales

que se determinaron al procesar las imágenes satelitales de evapotranspiración potencial de referencia y posteriormente utilizando la expresión de Budyko cuyo cálculo se explica en el subcapítulo 4.3.5 se pudo obtener el valor de evapotranspiración real. Como se puede ver en la tabla 32.

TABLA 32. VALORES ET POTENCIAL MENSUALES MODIS16A2

mes	ET _o _MODIS16A2 (mm/mes)	ET (mm/mes)
enero	1287.0	96.4
febrero	1230.5	123.6
marzo	1387.0	186.5
abril	1323.3	198.6
mayo	1402.3	148.4
junio	1399.0	72.3
julio	1489.5	50.9
agosto	1648.5	28.8
septiembre	1621.5	75.3
octubre	1460.3	125.0
noviembre	1237.3	138.7
diciembre	1206.5	109.8

Fuente: MODIS16A2

Elaborado por: Sandoval, O.

4.3.5 CURVA DE BUDYKO

La ecuación de Budyko asume que las precipitaciones son función directa de la escurrentía para estimar un balance de masa, la fórmula o curva de Budyko es una combinación de dos expresiones matemáticas de Scheiber y Dekop, como se ve en la ecuación 21

Combinando los datos estimados de evapotranspiración potencial tanto por el método de Thornthwaite, Hargreaves y los valores descargados de los productos del MODIS16A, con la fórmula de Budyko se puede calcular la evapotranspiración real. (Quispe, 2017) Los valores obtenidos a partir del cálculo con la ecuación propuesta se muestran en la tabla 33.

$$\frac{ET}{P} = \left(1 - \exp\left(-\frac{Ep}{P}\right)\right) \quad \text{EC. 21}$$

Donde:

ET: Evapotranspiración Real (mm/mes)

Ep: Evapotranspiración potencial (mm/mes)

P: Precipitación (mm)

TABLA 33. ET REAL A PARTIR DE LA ECUACIÓN DE BUDYKO

	ET_Budyko+MODIS (mm/mes)	ET_Budyko+Torthwaite (mm/mes)	ET_Budyko+Hargreaves (mm/mes)
E	96.4	44.53	80.49
F	123.6	43.74	92.67
M	186.5	51.89	118.80
A	198.6	51.10	111.79
M	148.4	49.97	98.53
J	72.3	39.80	63.05
J	50.9	34.51	48.55
A	28.8	24.98	28.70
S	75.3	40.48	67.49
O	125.0	48.66	98.87
N	138.7	48.78	96.90
D	109.8	46.96	86.86

Elaborado por: Sandoval, O.

4.3.6 MEDICIÓN DE CAUDAL

Se puede obtener el valor de la cantidad de agua en un tiempo establecido para punto determinado en el cierre de la cuenca, generalmente estos valores son conseguidos en las estaciones pluviométricas o estaciones de aforo. El método de aforo con molinete fue seleccionado principalmente porque toma en cuenta la naturaleza del lecho, el caudal y la pendiente (González & Valdiviezo, 1995)

Determinación del Caudal (Relación Sección - Velocidad)

La determinación del volumen de agua que drena por una corriente o el aforo de caudales usando molinete es uno de los procedimientos, económico, exacto y

conveniente, este caudal es función de la superficie de la sección transversal (A) y de la rapidez promedio del agua (V). (Almeida, 2010)

El esquema para la determinación de la velocidad en un canal o río se muestra en la figura 30

Aplicando la ecuación de la continuidad:

$$Q = A * V \quad \text{EC. 22}$$

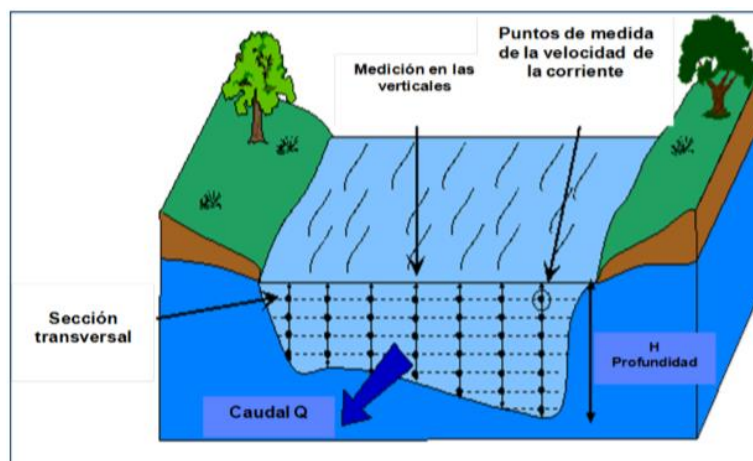
En donde:

Q : Caudal aforado, (m^3/s)

A : Área de la sección transversal en el sitio de medición (m^2)

V : Velocidad media del agua en la sección transversal, (m/s)

FIGURA 30. CAUDAL A TRAVÉS DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL



Fuente: (Ordoñez J. , 2011)

Aforo con molinete

Un molinete es un aparato que se caracteriza por medir la velocidad puntual en ríos o canales abiertos a través de un mecanismo móvil que detecta el flujo de la corriente de agua, midiendo la velocidad angular de la hélice al girar en un tiempo determinado, al mismo tiempo que transmite estos valores hacia un contador digital de revoluciones, el principio de funcionamiento de este equipo se

fundamenta en la relación entre la velocidad puntual y la velocidad angular de la hélice (LDIA, 2019)

La velocidad promedio se determinó a través de la velocidad puntual por el método de un punto esto es tomando las medidas a 0.6 de la distancia en la vertical de la profundidad máxima del río o del canal, se toma en cuenta la superficie de la sección transversal, la separación para las zonas de sondeo en función del ancho del cauce menores a 1.2 m, recomendaciones para establecer el caudal la superficie de la sección transversal y las diferentes variables a ser consideradas (Hidalgo, 2017)

La relación entre las revoluciones del molinete y la velocidad se determina con las ecuaciones propias del equipo, las constantes “k” y “a” dependen del molinete de la hélice y de la forma de sujeción (OTT HydroMet, 2019) se usa la ecuación de la forma:

$$v = k * n + a \quad \text{EC. 23}$$

Donde:

v : Velocidad puntual (m/s)

k : Constante o paso hidráulico de la hélice (m)

n : Revolución de la hélice (1/s)

a : Constante numérica

Disponibilidad Superficial de agua y análisis de la oferta y demanda hídrica en la cuenca La Marquesa

Oferta hídrica

La oferta hídrica superficial representa la cantidad de agua existente y que queda presente después de que la precipitación a cubierto los requerimientos de evapotranspiración e infiltración en el área de análisis y como resultado la lluvia excedente en la cuenca La Marquesa, recorre como escorrentía superficial a través de la zona de estudio. En la tabla 34 se puede ver la aplicación de la

ecuación fundamental del balance hidrológico y las diferentes variables determinadas en la cuenca La Marquesa con los diferentes métodos.

TABLA 34. PRECIPITACIÓN, EVAPOTRANSPIRACIÓN Y ESCORRENTÍA EN (mm)

Tornthwaite												
	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P	96	124	187	199	148	72	51	29	75	125	139	110
ET _o	60	54	61	59	61	58	58	58	58	62	60	61
ET	45	44	52	51	50	40	35	25	40	49	49	47
E	51	80	135	148	98	32	16	4	35	76	90	63
Hardgreaves												
	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P	96	124	187	199	148	72	51	29	75	125	139	110
ET _o	174	171	189	164	162	149	156	167	170	196	166	172
ET	80	93	119	112	99	63	49	29	67	99	97	87
E	16	31	68	87	49	9	2	0	8	26	42	23
MODIS16A												
	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P	96	124	187	199	148	72	51	29	75	125	139	110
ET _o	1287	1231	1387	1323	1402	1399	1490	1649	1622	1460	1237	1207
ET	96	124	187	199	148	72	51	29	75	125	139	110
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Elaborado por: Sandoval, O.

Se obtuvieron valores de escorrentía positivos, representan la cantidad de agua que se aportan a los cauces de la cuenca, estos caudales se estimaron con el uso del método racional, se calculó el valor de los caudales en la zona de estudio con la siguiente expresión.

$$Q = \frac{CIA}{3.6} * 1000$$

Donde:

Q: Caudal en l/s

C: Coeficiente de escorrentía (1/s)

I: Intensidad de precipitación (mm/h)

A: Área de la cuenca (km²)

TABLA 35. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES

Precipitación media (mm)		C	I	A	Q
Enero	96.37	0.35	0.13	3.25	40.86
Febrero	123.58	0.35	0.17	3.25	52.40
Marzo	186.62	0.35	0.25	3.25	79.13
abril	198.85	0.35	0.27	3.25	84.32
Mayo	148.45	0.35	0.20	3.25	62.95
Junio	72.26	0.35	0.10	3.25	30.64
Julio	50.92	0.35	0.07	3.25	21.59
Agosto	28.79	0.35	0.04	3.25	12.21
Septiembre	75.35	0.35	0.10	3.25	31.95
Octubre	125.04	0.35	0.17	3.25	53.02
Noviembre	138.71	0.35	0.19	3.25	58.82
Diciembre	109.82	0.35	0.15	3.25	46.56

Elaborado por: Sandoval, O

Los valores de caudal determinados en campo para el mes de junio y octubre en la zona de descarga junto con los valores teóricos estimados para la cuenca varían muy poco, la validación indirecta nos sirvió para usar los datos estimados como la oferta de agua en la cuenca la Marquesa.

TABLA 36. AFORO DE CAUDAL EN LA CUENCA LA MARQUESA

	Sitio	Coordenadas		Altura (m)	Caudal Junio (l/s)	Caudal Octubre (l/s)
		X	Y			
P1	Cierre de la cuenca	803737.7	10034173	2432	31.3	38.9

Elaborado por: Sandoval, O.

Demanda de agua

La cantidad de agua que se requiere en la cuenca la Marquesa en el presente estudio considera únicamente los usos y aprovechamientos que se encuentran autorizados por la autoridad competente dentro de la cuenca.

Estos valores se pueden ver a continuación en la tabla. la misma que describe las autorizaciones de uso y aprovechamiento en la cuenca La Marquesa, estos datos se obtuvieron en la dirección zonal del ministerio del ambiente y agua en la ciudad de Ibarra.

TABLA 37. DEMANDAS DE AGUA EN LA MARQUESA

Concesionario Autorizado	Cuenca	Microcuenca	Aprovechamiento	Uso	Caudal l/s	Código Pfafstetter
MUNICIPIO DE COTACACHI	Rio mira	Rio ambi y dren al rio mira	Vertiente la marquesa	Domestico	33.52	15485
ESPINOZA FRANCISCO Y OTROS	Rio mira	Rio ambi y dren al rio mira	Rio ambi / quebrada azaya / acequia la marquesa	Riego	6.75	15485
CEVALLOS CARLOS Y CEVALLOS MARTHA	Rio mira	Rio ambi y dren al rio mira	Rio ambi / quebrada azaya / acequia la marquesa	Riego	6.75	15485
GUANDINANGO JOSE	Rio mira	Rio ambi y dren al rio mira	Rio ambi / acequia la marquesa	Industrial	0.047	15485
COMUNIDAD TUNIBAMBA Y ALAMBUELA	Rio mira	Rio ambi y dren al rio mira	Acequia la marquesa	Riego	12.64	15485
COMUNIDAD PERAFAN	Rio mira	Rio ambi y dren al rio mira	Acequia la marquesa	Riego	5	15485
VALVERDE NELLY	Rio mira	Rio ambi y dren al rio mira	Acequia la marquesa	Riego	1.75	15485
BARRY NYE HALE	Rio mira	Rio ambi y dren al rio mira	Acequia la marquesa	Riego	1.75	15485

Elaborado por: Sandoval, O

La falta de registros y monitoreo en la cantidad de agua se desconoce la cantidad que las comunidades disponen, además como se pudo constatar en conversaciones con el personal encargado del agua en el municipio de Cotacachi existen intereses de los comuneros de hacerse con un caudal mayor de la vertiente la Marquesa para el uso en actividades de riego.

4.5 CALIDAD DEL AGUA

La verificación de los parámetros de calidad del agua en la cuenca La Marquesa, se realizó mediante el estudio y análisis de los parámetros físicos como: el pH y la temperatura y de los parámetros químicos como: el oxígeno disuelto, la alcalinidad, la dureza total, DQO y la DBO, para el análisis de los indicadores

microbiológicos se midió la existencias de coliformes fecales y coliformes totales, algunos de estos parámetros se analizaron en los lugares escogidos y los demás características en el Laboratorio docente de Ingeniería Ambiental (LDIA), se puede ver en la tabla 38.

TABLA 38. MÉTODOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS

Parámetro	Método Analítico	Sitio
Alcalinidad	Titulación	LDIA
Dureza	Titulación	LDIA
DBO	Método Winkler	LDIA
DQO	Digestor Hach	LDIA
Coliformes Totales	Número más Probable	LDIA
Coliformes fecales	Número más Probable	LDIA
pH	Potenciómetro	in situ
Temperatura	Medidor de OD	in situ
Oxígeno Disuelto	Medidor de OD	in situ

Elaborado por: Sandoval, O.

Selección de puntos de muestreo, frecuencia, recolección y manejo de muestras

Para los muestreos y las mediciones de los parámetros en los diferentes puntos establecidos así mismo como para la medición del caudal en campo, se contó con equipos como: pH metro (Hach), sonda de oxígeno disuelto (Hach), micro molinete (OTT, Hydromet), recipientes de polietileno (botellas de 600ml), bolsas de plástico negras, contenedor refrigerador con hielo, cinta métrica y EPP (guantes, botas, mascarilla)

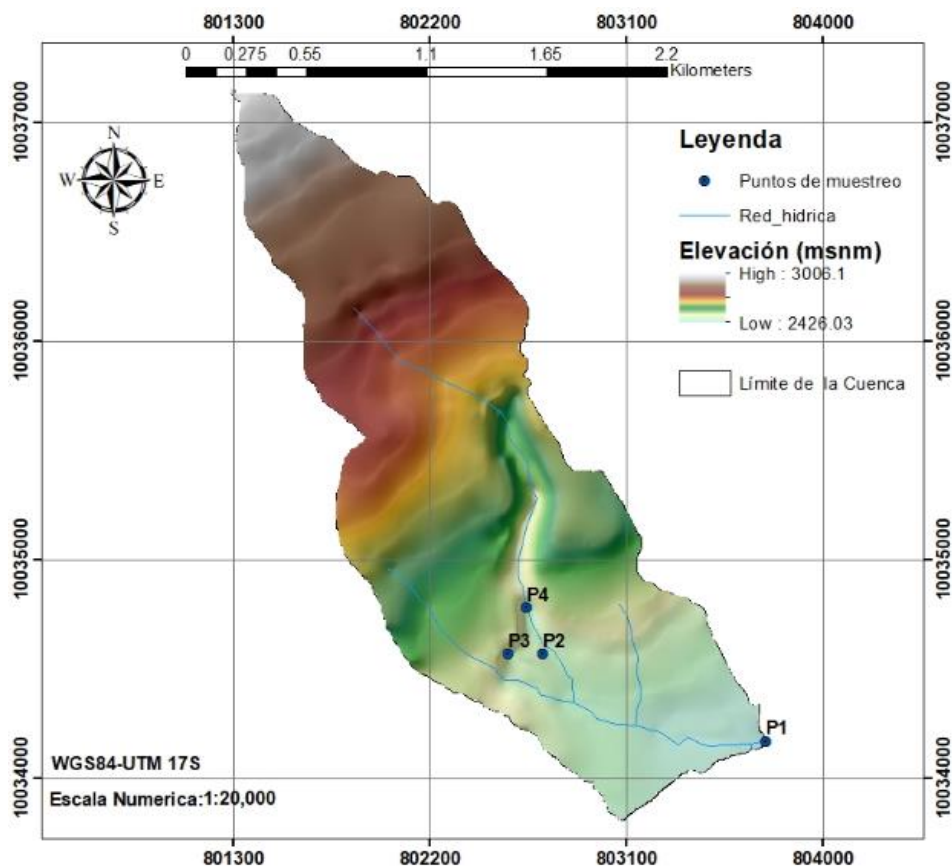
Se seleccionó e identificó geográficamente los lugares para el muestreo y se determinó las prioridades en la red hídrica, para verificar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua. El establecimiento de los sitios de muestreo se basó: en las preocupaciones locales y en las sugerencias determinadas con los responsables del agua del GAD municipal de Cotacachi.

Se realizó un recorrido a lo largo de la red hídrica para la identificación de zonas potencialmente contaminadas y verificación de aportes secundarios al río

principal. Se Ubicaron los puntos de muestreo con un sistema de posicionamiento geográfico (GPS).

Además, se estableció una red de muestreo con los sitios propuestos por los encargados del agua en la ciudad de Cotacachi los mismos que sugirieron 4 puntos localizados dentro de la parte baja media y alta de la cuenca, y que potencialmente se encuentran contaminados debido a las diferentes actividades realizadas por la población que se asienta en los alrededores de los cursos de agua. (Ver anexo mapa 4)

FIGURA 31. SITIOS DE MUESTREO EN LA CUENCA LA MARQUESA



Fuente: GAD Cotacachi

Elaborado por: Sandoval, O.

TABLA 39. PUNTOS DE MUETREO EN LA CUENCA LA MARQUESA

Código	Sitio	Coordenadas		Altura, msnm.
		x	y	
P1	Cierre de la cuenca	803737.7	10034173	2432
P2	Canal de haciendas	802715.9	10034571	2486
P3	Captación La Marquesa	802561.2	10034570	2514
P4	Cuenca alta	802645.8	10034783	2495

Elaborado por: Sandoval, O.

Se realizó un muestreo por mes en el periodo de junio a septiembre. Estableciéndose para cada punto 4 muestras simples, en base a los costos de los análisis de los parámetros respectivos, disponibilidad de los reactivos en el LDIA, la facilidad de recolección manejo, acondicionamiento y transporte de las muestras, para los análisis respectivos.

Para la recolección y conservación de las muestras se siguió las recomendaciones y los procedimientos del Stándar Methods for wáter and watewater. (APHA, 2017) La toma de las muestras tanto para los análisis físicos, químicos y microbiológico se las hizo en la mañana y en la tarde desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm, desde el punto ubicado en el cierre de la cuenca hacia aguas arriba, para evitar contaminación por manipulación.

Para cada uno de los sitios establecidos se tomaron cuatro muestras en botellas plásticas (polietileno) de 600ml, las mismas que fueron previamente lavadas y esterilizadas posteriormente al momento de la toma de la muestra fueron homogenizadas con el agua de los cursos de agua considerados, se introdujeron en bolsas plásticas negras y conservadas a bajas temperaturas entre 0 y 6°C, las muestras fueron transportadas dentro de las 24 horas después de su recolección al laboratorio donde se determinó: la alcalinidad, dureza, DBO₅, DQO, para el análisis microbiológico se adquirió una botella esteriliza por cada punto, además se colocó un capuchón de aluminio en la tapa hasta la altura del cuello, para evitar contacto directo al manipularla, las muestras conservadas y transportadas bajo las mismas condiciones.

TABLA 40. RECOLECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Parámetro	Contenedor	Muestra Mínima (ml)	Tipo de Muestra	Conservación	Almacenamiento máximo recomendado
Alcalinidad	Plástico	200	S	$\leq 6^{\circ}\text{C}$	24 h
Dureza	Plástico	100	S	$\leq 6^{\circ}\text{C}$	6 m
DBO	Plástico	1000	S	$\leq 6^{\circ}\text{C}$	24 h
DQO	Plástico	100	S	$\leq 6^{\circ}\text{C}$	7 d
Coliformes Totales	Plástico	1000	S	$\leq 6^{\circ}\text{C}$	24 h
Coliformes fecales	Plástico	1000	S	$\leq 6^{\circ}\text{C}$	24 h

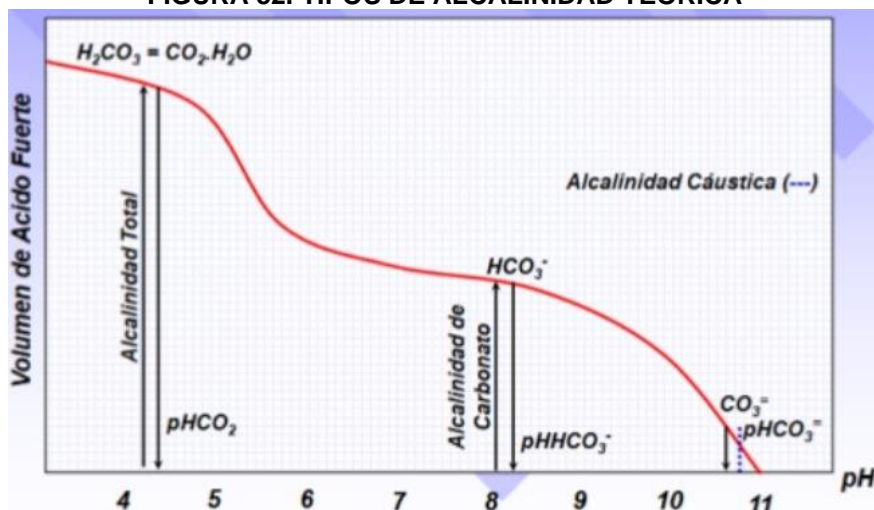
Fuente: Modificado de (Baird, Eaton, & Rice, 2017)

Elaborado por: Sandoval, O.

Alcalinidad

La alcalinidad corresponde a la capacidad tampón del agua, generalmente debida a la existencia en mayoría de los iones principalmente: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, tiene mucha importancia en procesos de control de corrosión, coagulación y ablandamiento. (NTE INEN-ISO 9963-2) Se comprueba por titulación con ácido sulfúrico y se desarrolla en dos etapas, las mismas que se determinan por medio de indicadores como: la fenolftaleína y el metacresol púrpura. Se ve en la figura 32.

FIGURA 32. TIPOS DE ALCALINIDAD TEÓRICA



Fuente: (Vega, 2018)

$$\text{Alcalinidad} \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{Ca CO}_3 \right] = \left[\frac{A * N * 50000}{\text{ml muestra}} \right] * f$$

Donde:

A = Volumen de solución H₂SO₄ 0.02 N gastado en la titulación

N = Normalidad del Ácido

f = factor de dilución de la muestra (1:10, 1:100, etc.)

Dureza

La existencia de la dureza principalmente se debe al aporte de los carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de los iones calcio y magnesio a través de la titulación con la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético di hidratado (EDTA) expresada como CaCO₃ y expresada como carbonato de calcio equivalente. (NTE INEN 0974:84)

La dureza total se determina utilizando la ecuación siguiente:

$$\text{Dureza Total} \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{Ca CO}_3 \right] = 1000 * \frac{V_2 * f}{V_1}$$

Donde:

V₁ = Volumen de la muestra, en ml

V₂ = Volumen de EDTA utilizando en la titulación en ml

f = Concentración de la solución EDTA

DBO

El cálculo de la DBO se realizó en continuo por el método de OxyTop, este procedimiento es respiro métrico el cual usa un determinado volumen de muestra que contiene aire con oxígeno en un 21 %, se introduce en una botella que contiene aire, el mismo cuyo volumen luego de un tiempo determinado disminuye ya que los microorganismos presentes consumen el oxígeno del agua en reacciones bioquímicas, el mismo que es compensado por el oxígeno del aire, pudiendo así medir la variación que se produce en la presión y siendo equivalente a la DBO. (NTE INEN 1203:2013)

$DBO_5 \text{ esperado} = 80\% * DQO$

TABLA 41. CANTIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DE LA DBO_5 ESPERADA

Volumen de la muestra (ml)	Rango de medida (mg/l)	Factor
432	0 - 40	1
365	0 - 80	2
250	0 - 200	5
164	0 - 400	10
97	0 - 800	20
43.5	0 - 2000	50

Elaborado por: Sandoval, O.

Determinación de la DBO_5

$$DBO_5 \left[\frac{mg}{l} \right] = Valor \text{ registrado} * factor$$

DQO

El análisis de la DQO se realizó con el digestor Hach. Para lo cual se hizo uso de viales estándar de rango bajo y rango medio según la muestra que se analizó. Se enciende y precalienta el digestor Hach a 150 °C. Paralelamente se mezcla la muestra de manera que si existen sólidos suspendidos estos queden uniformemente distribuidos. Se deposita con una pipeta 2 ml de la muestra en los viales correspondientes, se tapan herméticamente y se agitan ligeramente hasta alcanzar mezcla completa, hay que tener cuidado en el manejo de los viales ya que estos incrementan su temperatura. Los viales son llevados cuidadosamente al digestor y antes de colocarlos en el reactor se libera el gas de los viales se tapan y se colocan en el digestor, también se coloca un vial de cada rango que contiene 2ml de agua destilada los cuales serán los viales para calibración, colocar la celda plástica en el bloque del reactor y digestar durante dos horas, después de este tiempo se apaga el equipo y se espera hasta que la temperatura haya descendido y se puedan manipular los viales adecuadamente fríos, utilizando el espectrofotómetro Hach y el programa respectivo se procede al análisis de cada vial, previamente se encera el equipo con los viales con agua destilada para cada uno de los rangos correspondientes. (NTE INEN 1203:2013)

Coliformes Fecales y Totales

Las coliformes fecales y totales se determinaron a través de la técnica del número más probable, este procedimiento tiene una base estadística para expresar cuantitativamente los microorganismos presentes en una muestra. Esta prueba se determina al sembrar en un conjunto de tubos los mismos que tienen dentro un medio de cultivo en el cual se desarrollara un microorganismo o algunos de ellos. (Norma Mexicana NMX-AA-42-1987)

Considera en la suposición de que las bacterias se encuentran normalmente distribuidas en un medio líquido, es decir, muestras repetidas del mismo tamaño y de un mismo producto deben contener el mismo número de gérmenes como promedio. Esta cantidad de microorganismos equivale al NMP.

Con el número de tubos que dan reacciones positivas en los medios de cultivo y confirmativo se calcula con referencia a tablas teóricas el NMP tanto para los coliformes totales así como fecales en 100 ml de la muestra, los tubos positivos se consideran en agrupación para formar un código de tres dígitos que representa el código equivalente para la determinación del NMP o a través del uso de una expresión matemática si se realizó una serie de diluciones las mismas que se consideran en el análisis matemático para la determinación del NMP.

El valor final del NMP se obtiene a través de la aplicación de la formula.

$$\frac{NMP}{100ml} = \frac{\text{Numero de tubos positivos} * 100}{\sqrt{\text{ml de muestra en tubos negativos} * \text{ml muestra en todos los tubos}}}$$

Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH representa la cantidad de iones hidrogeno (H⁺) en el agua. Generalmente las aguas son ácidas o básicas por la presencia de sustancias ácidas o por la presencia de componentes como carbonatos y bicarbonatos respectivamente. (NTE INEN 0973, 2011)

Para la determinación del pH se realizó in situ para lo cual se hizo uso del equipo de medición de pH o potenciómetro, para lo cual se midió un volumen de 100 ml con la ayuda de un vaso graduado y se procedió a medir con la sonda del equipo.

Oxígeno Disuelto

La cuantificación del OD nos permite asumir la existencia de fenómenos en presencia o ausencia de oxígeno, la cantidad de gases que se encuentren en el agua deben realizarse en el lugar de estudio. (NTE INEN 2169, 2013) Se uso del equipo de medición de OD. Y se procedió a medir con la sonda la concentración de oxígeno disuelto.

Temperatura

La determinación de la Temperatura se realizó in situ para lo cual se hizo uso del equipo de medición de OD, y del potenciómetro los mismos que también registran el valor de la Temperatura en sus equipos respectivamente. Se midió un volumen de 100 ml con la ayuda de un vaso graduado y se procedió a medir con la sonda, se obtuvo dos valores de temperatura los mismos que se promediaron y se obtuvo el valor de la temperatura del agua.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

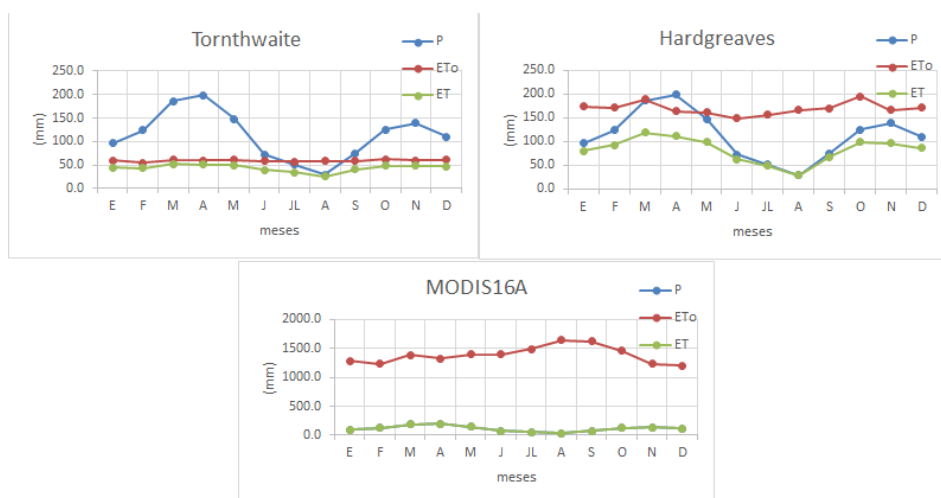
5.1 BALANCE HIDROLÓGICO

Balance Hidrológico Teórico

El Balance Hidrológico teórico, en su primera etapa determinó los valores de las variables climatológicas necesarias seguidamente el cálculo de le ETP a través de la metodología propuesta por Thornthwaite, Hargreaves y los productos obtenidos del MODIS16A2, explicados en la sección metodológica.

Finalmente, con los resultados obtenidos de la ETP se realizó la estimación del balance hidrológico, en donde se agrupan los valores correspondientes a la precipitación, evapotranspiración y la diferencia de esta para poder definir los valores de escorrentía.

FIGURA 33. VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y REAL

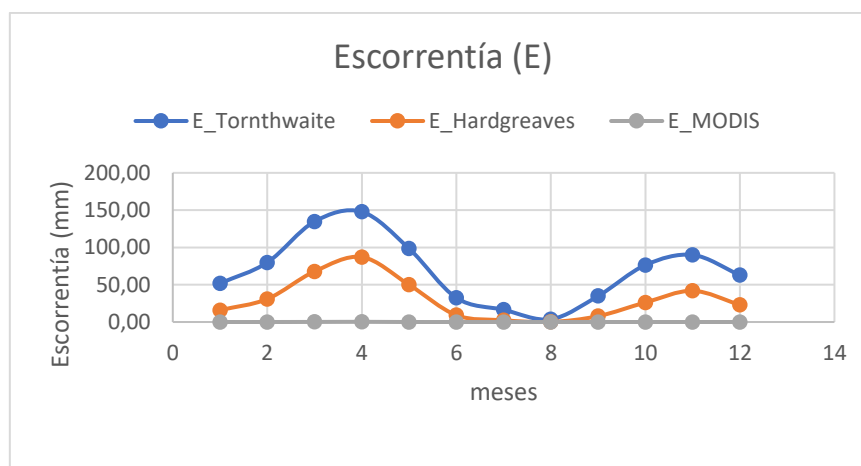


Elaborado por Sandoval, O

El exceso de agua permite tener un continuo abastecimiento de agua por escorrentía solo encontrándose una ligera variación en los meses de junio a

septiembre en los que los valores son los más bajos incluso encontrándose valores nulos. Como se ve a continuación en la figura 34.

FIGURA 34. VALORES DE ESCORRENTÍA RESULTADO DE APLICAR LA ECUACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO



Elaborado por: Sandoval, O

Balance Hidrológico en ArcGIS

La variabilidad con los cálculos teóricos radica en los datos de entrada de temperatura media mensual utilizados, en este caso se usó el ráster de isotermas a nivel nacional, con estos datos a través de las herramientas propias de los SIG, se asignó valores de temperatura a las estaciones que carecían de éstos, con estos valores se procedió hacer la interpolación mediante el método IDW y obtener valores representativos de temperatura media en la cuenca.

Los valores de temperatura y precipitación media mensual en la cuenca permitieron hacer los mapas de isoyetas e isotermas estos ráster permitieron determinar la evapotranspiración potencial utilizando la metodología de Thornthwaite y también la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración, con el uso de la herramienta álgebra de mapas, ráster calculador propias de los SIG.

Estos resultados se presentan en tabla 42

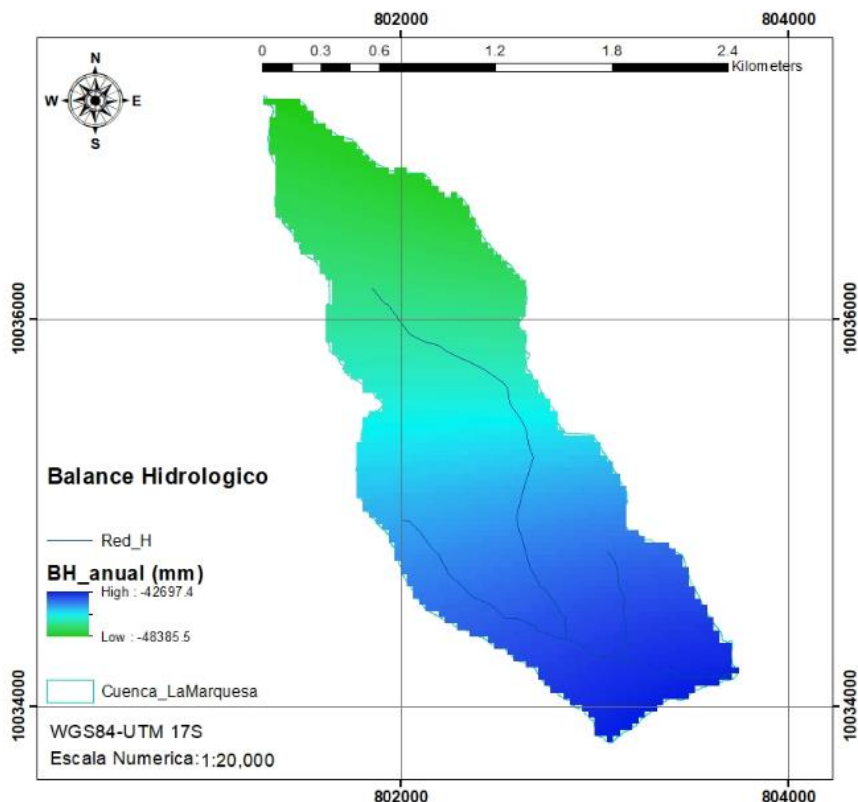
TABLA 42. BALANCE HIDROLÓGICO EN ARCGIS

ARCGIS												
	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
P	96	124	187	199	148	72	51	29	75	125	138	110
ET _o	905	824	923	897	924	899	906	924	897	926	897	920
E	-808	-701	-737	-698	-776	-827	-855	-895	-822	-801	-758	-810

Elaborado por: Sandoval, O.

Los valores determinados en ArcGIS se asemejan a los datos encontrados a través del producto MODIS16A, valores de evapotranspiración mayores a los que se calcularon teóricamente. El balance hidrológico anual se presenta la figura 35, usando la metodología de Thornthwaite, se procede a sumar los valores de precipitación media mensual y restarlos de la sumatoria de los valores de evapotranspiración potencial mensual en la cuenca de estudio. (Ver Anexo 2, Mapas 6 a 17)

FIGURA 35. BALANCE HIDROLOGICO ANUAL

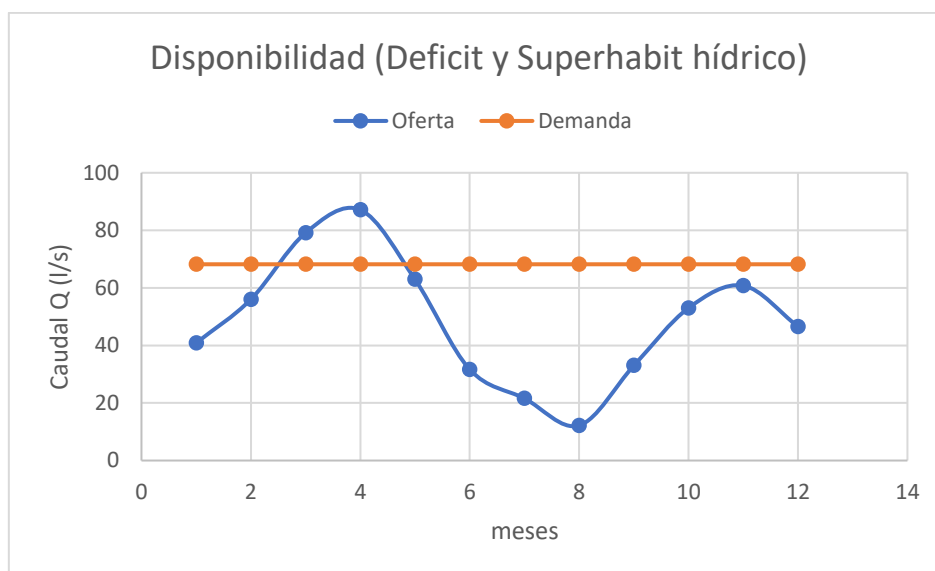


Fuente: IGM, INAMHI, GAD Cotacachi

Elaborado por: Sandoval, Oscar.

Balance Hídrico Superficial. - El balance hídrico superficial representa la disponibilidad de agua en la cuenta y es igual a la resta de la oferta o los caudales estimados menos la demanda que son los usos y aprovechamientos, estos valores pueden ser positivos o negativos correspondiendo a meses con superávit o déficit hídrico, como se puede ver a continuación en la figura 10.

FIGURA 36. DISPONIBILIDAD DE AGUA DÉFICIT Y SUPERÁVIT HÍDRICO



Elaborado por: Sandoval, O

Para determinar los meses con superávit y déficit hídrico se realizó el balance hídrico superficial el mismo que es igual a la oferta menos la demanda, el resultado corresponde a la disponibilidad, si los valores de la oferta son menores a la demanda corresponde a un déficit hídrico, mientras que si la oferta es mayor a la demanda es un escenario de superávit hídrico como se puede ver en la figura. y los valores se presentan a continuación en la tabla 43.

TABLA 43. DISPONIBILIDAD SUPERFICIAL

Mes	Oferta (l/s)	Demanda (l/s)	Disponibilidad
Enero	40.8629502	68.21	-27.3470498
Febrero	56.0156412	68.21	-12.19435878
Marzo	79.1313001	68.21	10.92130013
Abril	87.1289628	68.21	18.91896276

CONTINUACIÓN TABLA 43.

Mayo	62.9482546	68.21	-5.261745356
Junio	31.6624506	68.21	-36.5475494
Julio	21.5910938	68.21	-46.61890615
Agosto	12.2060371	68.21	-56.00396294
Septiembre	33.0145832	68.21	-35.19541676
Octubre	53.0196652	68.21	-15.19033476
Noviembre	60.7783113	68.21	-7.431688702
Diciembre	46.5648334	68.21	-21.64516658

Elaborado por: Sandoval, O

5.2 ANALISIS FÍSICO – QUÍMICOS

En las tablas 44 y 45, las cuales se muestran abajo se ve los datos de los indicadores y sus resultados evaluados en esta investigación.

Los datos determinados se contrastaron con los valores de los LMP, que se encuentran en la legislación ambiental, establecidos en el Libro VI, Anexo I del TULSMA.

Cabe señalar que para la vertiente La Marquesa se usaron los criterios de calidad de agua para uso doméstico, para el canal de haciendas los criterios de agua para riego y uso pecuario, en función de las actividades observadas en las visitas de campo; en cuanto a los dos puntos que corresponden a las corrientes de agua en la cuenca alta y el punto de cierre de la cuenca se consideró los LMP para riego, conservación de flora y fauna y uso pecuario, usándose el valor más restrictivo, como señala la normativa ambiental al evidenciar el aprovechamiento de los cursos de agua en diferentes usos.

Los valores que superan la norma son marcados con amarillo, y los puntos de muestreo con su respectivo color y correspondiente LMP.

Resultado análisis parámetros físicos y químicos

TABLA 44. PARÁMETROS FÍSICOS EN LA CUENCA LA MARQUESA

JUNIO		
Código	pH (u)	T (°C)
P1	8.1	22.2
P2	7.5	17.6
P3	7.6	14.9
P4	7.64	14.01
LMP	(6-9)	(+/-3)
LMP	6.5-8.4	(+/-3)
LMP	6.5-8.4	(+/-3)
JULIO		
P1	7.95	19.2
P2	7.8	17
P3	7.87	13.6
P4	7.64	14.1
LMP	(6-9)	(+/-3)
LMP	6.5-8.4	(+/-3)
LMP	6.5-8.4	(+/-3)
AGOSTO		
P1	8.01	18.4
P2	7.6	15.3
P3	7.41	14.6
P4	7.4	13.8
LMP	(6-9)	(+/-3)
LMP	6.5-8.4	(+/-3)
LMP	6.5-8.4	(+/-3)
SEPTIEMBRE		
P1	7.95	17.8
P2	7.5	14.4
P3	7.87	14.3
P4	7.3	12.1
LMP	(6-9)	(+/-3)
LMP	6.5-8.4	(+/-3)
LMP	6.5-8.4	(+/-3)

Fuente: TULSMA.

Elaborado por: Sandoval, O.

TABLA 45. PARÁMETROS QUÍMICOS EN LA CUENCA LA MARQUESA

JUNIO					
Código	OD (mg/l)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Dureza (mg/l CaCO ₃)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)
P1	5.85	63	0.18	134	120
P2	5.19	49	0.22	13	30
P3	5.02	45	0.18	11	10
P4	5.32	60	0.18	121	110
LMP	no menor a 6	-	500	-	2
LMP	3	-	-	-	-
LMP	no menor a 6				
JULIO					
P1	5.76	64	0.16	141	130
P2	4.95	45	0.22	18	40
P3	4.96	47	0.2	10	20
P4	5.68	51	0.3	111	90
LMP	no menor a 6	-	500	-	2
LMP	3	-	-	-	-
LMP	no menor a 6				
AGOSTO					
P1	6.45	94	0.42	146	110
P2	6.66	41	0.12	18	4
P3	5.03	49	0.14	16	2
P4	5.99	54	0.36	124	90
LMP	no menor a 6	-	500	-	2
LMP	3	-	-	-	-
LMP	no menor a 6				
SEPTIEMBRE					
P1	6.83	106	0.5	142	70
P2	5.41	76	0.18	14	8
P3	4.96	44	0.12	12	6
P4	5.85	45	0.28	122	55
LMP	no menor a 6	-	500	-	2
LMP	3	-	-	-	-
LMP	no menor a 6				

Fuente: TULSMA.

Elaborado por: Sandoval, O.

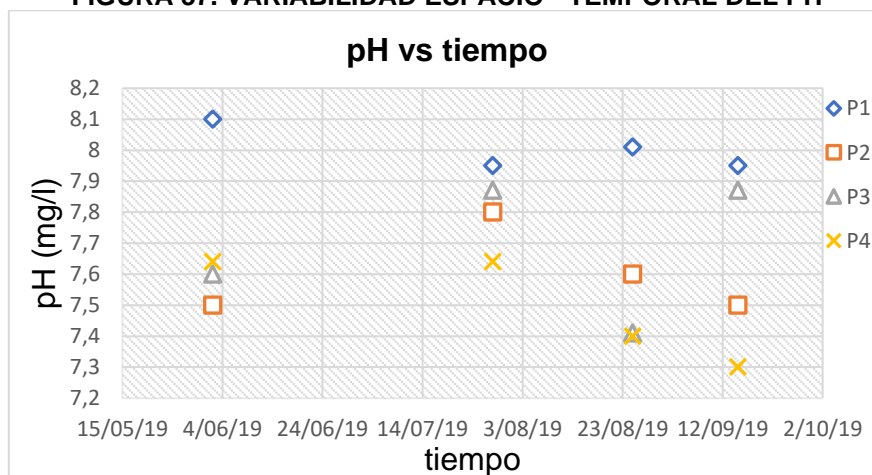
Análisis de los parámetros de Laboratorio

Los resultados que se presentan más adelante representan los parámetros del conjunto de muestras realizadas en los sitios de verificación en la cuenca La Marquesa. Siendo estos datos cuantificados LDIA, como resultado de los análisis físicos químicos de la calidad del agua, demuestran que la red hídrica en la cuenca se encuentra en buenas condiciones en las características del recurso. Sin embargo, se procede hacer el análisis de cada uno de estos parámetros y contrastar con los valores máximos permisibles que se encuentran disponibles en la normativa ambiental vigente y para los valores que se encuentran fuera de estos parámetros se detalló las potenciales causas antropogénicas, así como las causas naturales que podrían modificar las mismas.

Potencial de Hidrogeno (pH)

El resultado de los análisis del pH se encuentra alrededor de los valores que establece la legislación ambiental, TULSMA y los mismos que se establecen de 6 a 9, El resultado obtenido tiene un valor medio de 7.7 y fluctúa temporalmente y en el espacio poco, siendo esto probablemente al no estar presentes compuestos de características básicas o ácidas en el agua y que puedan modificar los valores del pH. Este valor se puede modificar espacialmente aguas abajo por la mala disposición de desechos en algunos puntos cercanos a la cuenca, así como por el uso de pequeñas parcelas para la crianza de animales, y pastoreo por parte de habitantes. Como se puede ver en la figura 37.

FIGURA 37. VARIABILIDAD ESPACIO - TEMPORAL DEL PH



Elaborado por: Sandoval, O.

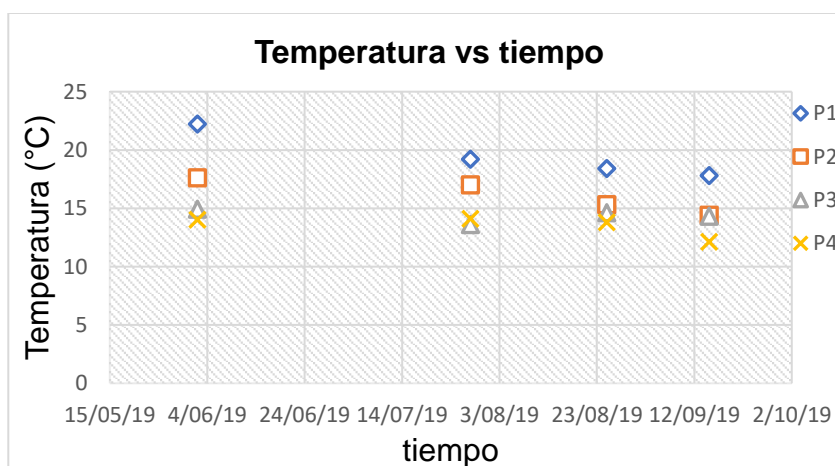
Temperatura (T)

El valor de la temperatura en el agua casi no varía y teniendo como valor medio 15.8 °C, se puede observar que los valores no cambian drásticamente en el tiempo y en el espacio.

Sin embargo, se puede notar que a medida que el agua baja a través de la cuenca existe un incremento máximo a 22 °C en la zona de descarga de la cuenca, esto debido a que al desplazarse el agua a través de los cauces su cubierta vegetal natural se ve modificada y en algunos lugares totalmente afectada por actividades antrópicas.

Además de encontrar lugares en los que se depositan residuos de animales y residuos líquidos provenientes de actividades de los habitantes aledaños a las riveras de la cuenca. Como se puede ver en la figura 38

FIGURA 38. VARIABILIDAD ESPACIO - TEMPORAL DE LA TEMPERATURA



Elaborado por: Sandoval, O.

Alcalinidad

La alcalinidad y sus respectivos LMP no están sujetos a normativa y no se encuentran valores referentes a este parámetro en el TULSMA, pero hay que tener muy en cuenta la presencia de este componente ya que es de importancia

en reacciones de neutralización y su potencial para equilibrar cambios en el pH del agua, se encontraron resultados medios de 58.3 mg/l.

Como se ve en la figura 39

FIGURA 39. VARIABILIDAD ESPACIO - TEMPORAL DE LA ALCALINIDAD



Elaborado por: Sandoval, O.

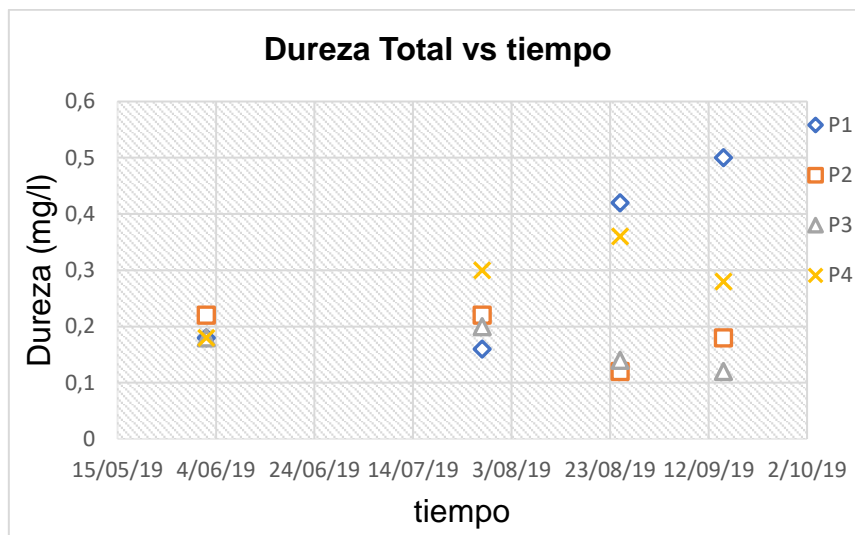
Dureza

El resultado de los análisis de las muestras en los puntos de verificación de la dureza nos muestra que en los sitios de verificación los resultados tienen valores que están en los límites que se establecen en la legislación ambiental además estos valores se encuentran muy por debajo de los que se encuentran en el TULSMA. Teniendo como valor medio 0.24 mg/l en la cuenca.

Si se encuentran valores que supera los 150 mg/l, podrían ser requeridos procesos de ablandamiento del agua, ya que estos valores elevados producen taponamientos en las cañerías y problemas para formar espuma con los jabones y detergentes. (Rhoades, 2006)

La variabilidad se puede ver en la figura 40.

FIGURA 40. VARIABILIDAD ESPACIO - TEMPORAL DE LA DUREZA



Elaborado por: Sandoval, O.

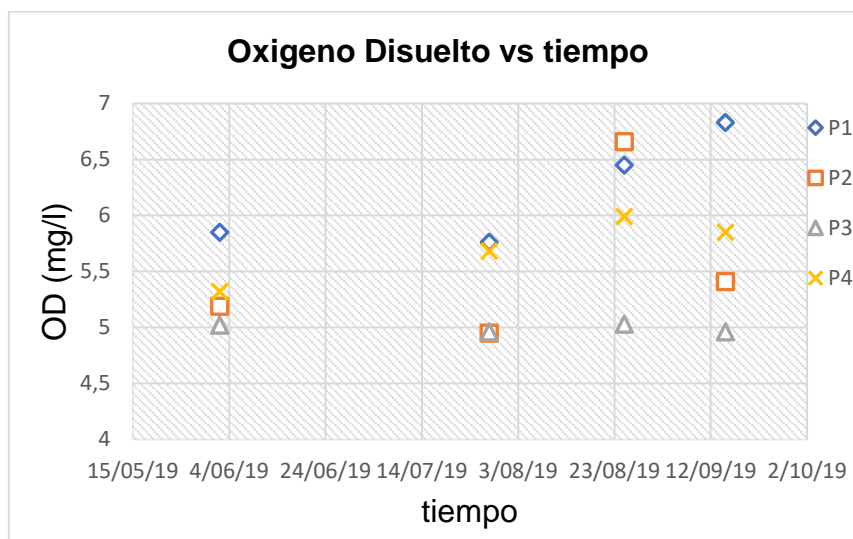
Oxígeno Disuelto (OD)

En el caso del oxígeno disuelto, para el punto de verificación en la vertiente La Marquesa los valores se localizan por debajo de los establecidos en la legislación ambiental en el TULSMA, estos valores van modificándose y adoptando valores menores debido a procesos como la descomposición de la materia, siendo el valor medio de 4.9 mg/l.

Igualmente, para los sitios de verificación en la cuenca alta y en el punto de cierre de la cuenca estos valores no cumplen con la normativa nacional vigente. Además, los valores aumentan conforme el agua se oxigena al trasladarse río abajo y decrecen debido a la transformación de compuestos orgánicos presentes. El canal de riego de las haciendas es el único punto que se encuentra dentro de los LMP en la cuenca.

Se puede ver en la figura 41

FIGURA 41. VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL OXIGENO DISUELTO EN LA CUENCA LA MARQUESA

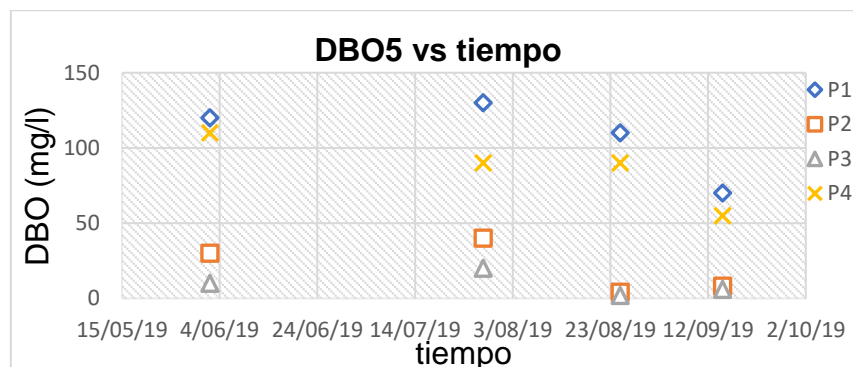


Elaborado por: Sandoval, O.

Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO₅)

En cuanto a la DBO los valores de los resultados en el punto de verificación de la vertiente La Marquesa, indica que superan el valor LMP los cuales se establecen en el TULSMA como parte de la legislación ambiental, teniendo un valor medio de 38 mg/l. Por lo que se debería actuar y accionar medidas en la captación como remoción de la vegetación cercana, un mejor cercado en las puertas de ingreso y evitar el contacto de los pies con el agua al ingreso a la bóveda de captación. El resto de los puntos de verificación no tienen valor de regulación en la normativa nacional vigente, sin embargo, el valor medio es de 55.9 mg/l.

FIGURA 42. VARIABILIDAD ESPACIO - TEMPORAL DE LA DBO₅

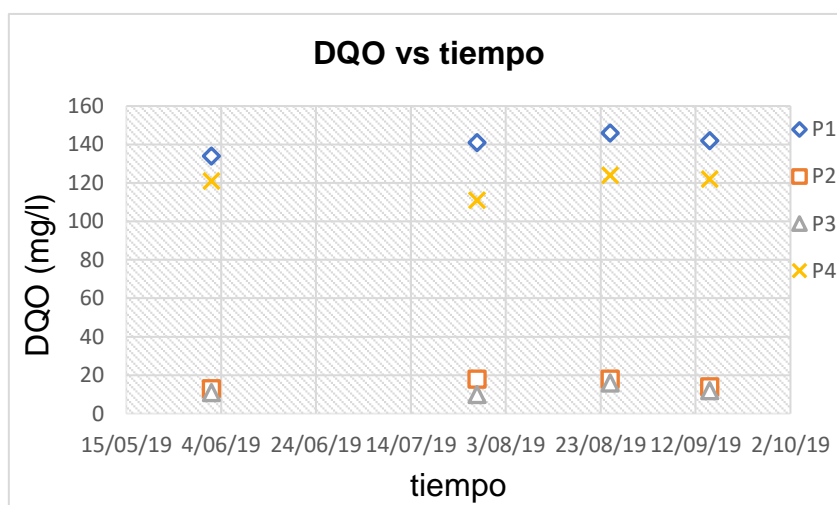


Elaborado por: Sandoval, O.

Demanda Química de oxígeno (DQO)

La DQO es una de las variables que no se controla y regula en la legislación ambiental y en el TULSMA, pero la presencia y al encontrar valores altos de DQO puede representar presencia de compuestos y reacciones que usen oxígeno y que no fueron analizados en esta investigación. El valor medio en la cuenca es de 72.1 mg / l. Su valor no cambia considerablemente en el espacio ni en el tiempo. Se puede ver la figura 43.

FIGURA 43. VARIABILIDAD ESPACIO - TEMPORAL DE LA DQO



Elaborado por: Sandoval, O.

5.3 ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

En las tablas 46 y 47 que se presentan más adelante se puede ver los resultados de los indicadores microbiológicos evaluados en esta investigación. Los resultados que derivaron se compararon con los LMP, que se encuentran en la norma de la legislación ambiental en el TULSMA.

De igual manera que para el análisis de coliformes totales y coliformes fecales se estableció el valor más restrictivo para cada punto considerando las normas

aplicadas en esta investigación, los valores que sobrepasan los LMP se encuentran de color amarillo.

Resultado análisis parámetros microbiológicos

TABLA 46. COLIFORMES TOTALES EN LA CUENCA LA MARQUESA.

FECHA	COLIFORMES TOTALES (colonias/100ml)			
	P1	P2	P3	P4
JUNIO	20786	248	< 1	5223
JULIO	19054	248	< 1	15589
AGOSTO	5223	310	< 1	5223
SEPTIEMBRE	19054	248	< 1	19054
LMP	1000	1000	50	1000

Fuente: TULSMA.

Elaborado por: Sandoval, O.

TABLA 47. COLIFORMES FECALES EN LA CUENCA LA MARQUESA.

FECHA	COLIFORMES FECALES (colonias/100ml)			
	P1	P2	P3	P4
JUNIO	15589	198	< 1	3656
JULIO	13857	149	< 1	13857
AGOSTO	5223	155	< 1	3134
SEPTIEMBRE	13857	99	< 1	15589
LMP	200, <1000	-	-	200, <1000

Fuente: TULSMA.

Elaborado por: Sandoval, O.

Análisis de los parámetros de Laboratorio

Las condiciones bacteriológicas en la cuenca presentan un alto grado de contaminación, a excepción de la vertiente La Marquesa captación para el sistema de agua potable de la ciudad de Cotacachi y el canal de haciendas, cuyos valores están dentro de los LMP, sin embargo, los valores determinados en el resto de los puntos están muy por arriba de los límites que se presentan en la legislación ambiental.

Si se dirige desde la zona alta hacia niveles inferiores de la cuenca los ríos se exponen a las actividades antropogénicas, los cursos de agua se contaminan con distintas formas de microorganismos.

Esto se traduce en que el agua de los ríos en la cuenca La Marquesa no se encuentre segura para el consumo de las personas, ni para usarse en riego ni para uso pecuario, ya que existe un potencial riesgo de transmisión de enfermedades.

Coliformes Totales

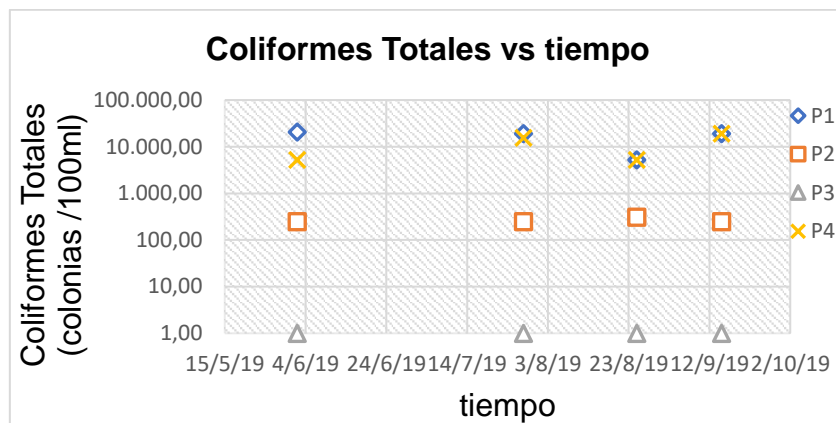
El resultado de los análisis para los puntos de verificación tanto en la parte alta y en la zona de descarga de la cuenca superan los valores de los LMP, a excepción de la vertiente La Marquesa y el canal de Haciendas cuyos valores están dentro de los parámetros permitidos establecidos en la legislación ambiental en el TULSMA

Los valores que no cumplen con los LMP son evidenciados por la contaminación de la actividad agrícola existente en las áreas cercanas a la red hídrica así mismo como por factores antropogénicos como una mala disposición de desechos sólidos y pastoreo en las riberas de los ríos pertenecientes a la cuenca.

Estas actividades deben ser reguladas y controladas por los responsables del agua en la ciudad de Cotacachi ya que al estar expuesta el agua a una elevada contaminación se traduce en potenciales causantes de enfermedades gastrointestinales, así como enfermedades de la piel ya que muchos cursos de agua son utilizados en el sector como sitio de recreación y juego por los pobladores, además que se encuentran en vulnerabilidad los niños y adultos mayores que utilizan este recurso.

Como se puede ver en la figura 44.

FIGURA 44. VARIABILIDAD ESPACIO - TEMPORAL DE LAS COLIFORMES TOTALES



Elaborado por: Sandoval, O.

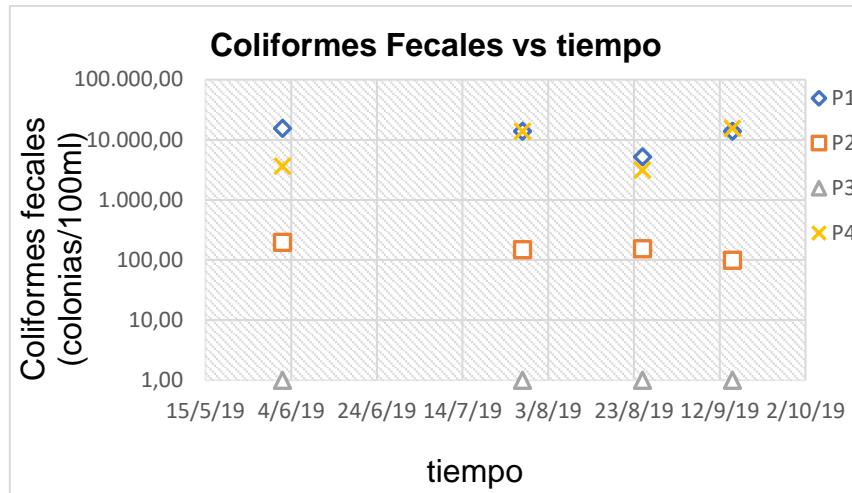
Coliformes Fecales

Los resultados que se obtuvieron en el caso de los análisis para las coliformes Fecales nos revelan que los sitios de verificación en la parte alta y en el punto de cierre de la cuenca igualmente se encuentran sobre los valores de los LMP, y para los puntos del canal de Haciendas, así como para la vertiente La Marquesa no tienen valor normado en la legislación ambiental en el TULSMA.

Al presentarse contaminación microbiológica muy elevada, se asume que las actividades antropogénicas presentes en toda el área de la cuenca tienen total influencia en la contaminación cruzada que se presenta, por lo que se necesitan acciones inmediatas para la seguridad de los recursos hídricos en el área.

Así mismo en el caso de encontrarse indicadores elevados de contaminación fecal, esta afectará directamente los cursos de agua que son utilizados por todas las personas que se asientan en los alrededores de la cuenca además se evidencia que una gran mayoría usa el agua también para abastecer los animales de pastoreo que se encuentran libremente en las riveras de los ríos, se debe inmediatamente tomar acciones de control y prohibiciones ya que muchos pobladores no tienen conocimiento de la calidad del agua.

FIGURA 45. VARIABILIDAD ESPACIO - TEMPORAL DE LAS COLIFORMES FECALES



Elaborado por: Sandoval, O.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La disponibilidad de agua en la cuenca La Marquesa presenta una tendencia negativa o déficit hídrico en la mayor parte del año, tomando valores positivos o superávit en los meses de marzo y abril, estos valores se relacionan directamente con los meses de mayores precipitaciones y presencia de escorrentía superficial en la cuenca, sin embargo la cantidad de agua estimada no cubre las necesidades de los usuarios, existiendo problemáticas por hacer uso de caudales mayores por cada uno de los concesionarios autorizados, además de existir tomas ilegales y pérdida de caudales por tomas y cequias en mal estado.
- El caudal determinado en el punto de descarga de la cuenca presenta similitud con los valores de caudal estimados teóricamente, validando indirectamente la metodología teórica utilizada en el cálculo de los valores de caudal, esto permitió determinar la disponibilidad de agua en la cuenca, al calcular los valores en los meses que existe déficit y superávit hídrico al presentarse épocas en las que la oferta supera a la demanda y viceversa.
- El caudal total presente en la cuenca La Marquesa no se lo aprovecha en su totalidad ya que se pudo constatar que existen un conjunto de afloramientos en el interior de la cuenca algunos de ellos aportan caudal a los cuerpos hídricos y cuyos valores son desconocidos, también se evidencio que los una gran parte de los caudales autorizados en la zona se desperdician en la noche principalmente por los usuarios que lo utilizan para riego.
- Se pudo establecer una primera línea base de parámetros hidrológicos tanto en cantidad como en calidad del agua para la cuenca La Marquesa los mismos que representan una base de datos para ser utilizados e integrados a otros proyectos en el área de estudio además de poder contar con valores reales en cuanto a la

calidad del recurso y garantizar ésta en beneficio de las personas que la utilizan para consumo humano.

- El agua de los ríos en la cuenca La Marquesa presenta buena calidad en cuanto a las variables fisicoquímicas verificadas, pero esta no es apta para el consumo de los seres humanos, ni para riego, debido a que la calidad microbiológica de ésta está fuera de los parámetros establecidos; el agua en estas condiciones permite la propagación de enfermedades de origen hídrico, los elementos causantes de esta contaminación son claramente evidenciados entre estos están: el lavado de ropa en los cuerpos hídricos, eliminación de desechos sólidos en las quebradas o cerca de los cursos de agua, pastoreo en las orillas de los ríos, falta de infraestructura sanitaria dentro de las casas así como inexistencia de servicios de alcantarillado e infraestructura para tratamiento de aguas residuales.

- La calidad fisicoquímica de la vertiente La Marquesa presenta buena calidad sin embargo considerando los parámetros como OD y DBO superan los límites máximos permisibles, por factores propios de la captación ya que el reboce del agua permite el contacto con materia vegetal en las inmediaciones del tanque colector, así como se pudo evidenciar la presencia de partículas en suspensión, así como el contacto directo entre el agua y de las personas que caminan e ingresan a la bóveda de captación. En cuanto a la calidad microbiológica la captación y el canal de riego poseen valores que se encuentran muy por debajo y dentro de los límites establecidos respectivamente.

6.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda a los técnicos encargados del agua en el cantón Cotacachi desarrollar y llevar a cabo un programa y plan de control, monitoreo, y vigilancia adecuado en la cuenca La Marquesa, con el fin de evaluar constantemente las características calidad y el volumen del agua en la cuenca, ya que esto permitirá garantizar la calidad en el servicio tanto para el sistema de agua potable como la seguridad a los habitantes que utilizan este recurso a lo largo de los cuerpos de agua, permitiendo desarrollar medidas de mitigación y evitar potenciales focos de

contaminación debido a los diferentes factores naturales y antropogénicos que deterioran la calidad de los cursos y vertientes de agua.

Para mayor seguridad en la captación, capacitar a los responsables del control y mantenimiento de las bóvedas en la vertiente, establecer un cronograma de limpieza en las zonas cercanas a la captación, además de considerar la mejora en las puertas de ingreso y establecer protocolos de ingreso y salida al área donde se capta el agua para el sistema de potabilización.

Se recomienda campañas de educación ambiental en los pobladores y habitantes cercanos a la cuenca La Marquesa ya que esto permitirá establecer lineamientos y normas en los hábitos y formas de vida, además de concientizar la importancia y protección del agua en la zona, y la relación directa con la salud de la población.

En función de los valores obtenidos en este proyecto se recomienda la continuidad en la medición de caudales y datos de pluviosidad en la zona, ya que de esta manera se podrá determinar con mayor precisión la cantidad de agua que existe por aporte de aguas subterránea o el aporte de afloramientos dentro del área de la cuenca.

Se recomienda identificar las diferentes necesidades de las comunidades y el incremento en el control de las autoridades correspondiente conjuntamente con los pobladores de la cuenca para hacer cumplir la ley que involucra a la seguridad del agua, la disposición de desechos sólidos sean hechas según la regulaciones establecidas, la reubicación y la regulación del pastoreo en las zonas cercanas a los ríos, evitar el uso del agua para el lavado de ropa, sancionar y controlar la quema y destrucción de los bosques nativos alrededor de los cursos de agua y el desarrollo de planes integrales del uso de los recursos en la cuenca y que todas estas necesidades sean satisfechas y asegurar el éxito de los proyectos futuros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. (Octubre de 2010). *Instructivos de Procesamiento de Información Hidrometeorológica*. Obtenido de (Tesis de Pregrado).
- Aparicio, F. (1992). *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*. (S. LI MUSA, Ed.) Obtenido de [http:// www.utsvirtual.edu.co/sitio/blogsuts/recuragua/files/2013/10/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-Aparicio.pdf](http://www.utsvirtual.edu.co/sitio/blogsuts/recuragua/files/2013/10/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-Aparicio.pdf)
- APHA. (2017). *Stándar Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washinton D.C.
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington.
- Carbajal, A., & González, M. (2012). *Agua para la salud: pasado, presente y futuro*. (M. Toxqui, & L. Vaquero, Edits.) Obtenido de Agua para la salud: pasado, presente y futuro: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>
- Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narváez, C., & Morocho, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorologicos mediante metodos estadisticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *Idesia*, 34(3), 81-90.
- CEPAL. (1994). La gestión del agua y la cuencas en America Latina. *Revista de la CEPAL*, 111-113.
- CEPAL. (2012). *DIAGNOSTICO DE LAS ESTADISTICAS DEL AGUA EN EL ECUADOR*. Obtenido de <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/des>

cargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilc%202012-2.pdf

CHOW, V. T., MAIDMENT, D., & MAYS, L. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*.

Obtenido de https://kupdf.net/queue/hidrologia-aplicada-ven-te-chow-mc-graw-hill-completo-ociosopdf_59652064dc0d60a64f2be30e_pdf?queue_id=-1&x=1568146625&z=MjAwLjEwNy41NS4xNjI=

Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Quimica viva*, 11(3), 147-170.

Comino, J. (2013). Cuantificación de los gradientes térmicos a nivel superficial a lo largo del Rheinland-Pfalz (Renania-Palatinado Alemania). *Baética: Estudios de arte, geografía e historia*, 75-78.

Coral, A., Garcia, J., & Leal, C. (2015). CALCULO DEL BALANCE HÍDRICO USANDO MODELAMIENTO DE DATOS ESPACIALES: estudio aplicado a la cuenca del rio Buena Vista, Ecuador. *Revista Formacao*, 1(22), 119-137.

Cordoba, M. (30 de Abril de 2016). *Parametros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*. Obtenido de https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26

De Marsily, G. (2003). *EL AGUA Una explicación para comprender Un ensayo para reflexionar*. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=dHbqpngSTpIC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Ghislain+De+Marsily%22&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj2_v2O08nIAhUiwVkkHUG2CaYQ6wEILDAA#v=onepage&q&f=false

Duque, P., Cajamarca, R., Wemple, B., & Delgado, M. (2019). ESTIMACIÓN DEL BALANCE HIDRICO DE UNA CUENCA ANDINA TROPICAL. *LA GRNAJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA*, 58-60.

- EPA. (Diciembre de 2012). *15º Informe de la Junta Ambiental del Buen Vecino: El estado ambiental, económico y de salud de los recursos hídricos en la región fronteriza México-Estados Unidos*. Obtenido de https://search.epa.gov/epasearch/?querytext=Biocriterios&areaname=&areacontacts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result_template=2colesp.ftl&bias=espanol_policy#/
- FAO. (1985). *Irrigation Water Management: Training Manual No.1 - Introduction to Irrigation*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/r4082e/r4082e00.htm#Contents>
- FAO. (1996). *Ecología y Enseñanza Rural, Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/W1309S/w1309s00.htm#TopOfPage>
- FAO. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo*. Roma.
- Félez, M. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos*. Obtenido de tesis de pregrado: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03_Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Fernández, A. (Diciembre de 2012). *El agua: un recurso esencial*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Flores, F. (Mayo de 2010). *Manejo integral de la Cuenca Hidrografica del Rio Ambi ubicado en la Provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Canton Cotacachi*. Obtenido de Tesis de Pregrado, Universidad San Francisco de Quito.
- GAD IMBABURA. (2014). *Geoportal*.

- GADM Cotacachi. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Canton Cotacachi*. Obtenido de <http://www.cotacachi.gob.ec/index.php/component/phocadownload/category/61-actualizacion-pdot-2015-2035>
- GADM Cotacachi. (2016). *Elaboración participativa de un diseño hidrológico en la cuenca La Marquesa*. Cotacachi.
- García, F. (1995). *Manual de Climatología aplicada. Clima, medio ambiente, planificación. Síntesis, Madrid*.
- Garrido, A., & Teijón, J. (2006). *FUNDAMENTOS DE BIOQUÍMICA ESTRUCTURAL*. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=avt8LFmp8q4C&printsec=frontcover&dq=propiedades+del+agua+pdf&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwih8dKt3o_kAhXPxlkKHxZyCwxwQ6AEIKDAA#v=onepage&q=propiedades%20del%20agua%20pdf&f=false
- González, E., & Valdiviezo, G. (1995). *Estudio de prefectabilidad del proyecto de minirriego "Linuma - El Espiritu"*. Obtenido de Tesis de Pregrado UTPL, Loja.
- Guachamin, W., Cadena, J., Carvajal, J., & Fernando, G. (2015). *CUENCA RIO MIRA MAPA DE ESCURRIMIENTO*. Obtenido de ESTUDIOS E INVESTIGACIONES HIDROLÓGICAS: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DEL_MIRA.pdf
- Guerra, M. (Septiembre de 2019). *Estimación de la variabilidad espacial y temporal de la escorrentía en microcuencas que drenan los paramos del Ecuador*. Obtenido de Tesis de pregrado Escuela Politecnica Nacional.

- Hidalgo, L. (2017). *MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN CANALES USANDO EL MICROMOLINETE*. Obtenido de ESCUELA POLITECNICA NACIONAL: [https://www.google .com/se arch ?q =aforo+con+micromolinete+EPN&rlz=1C1AVUC_enEC892EC892&oq=aforo+con+micromolinete+EPN&aqs=chrome..69i57j33.6599j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=aforo+con+micromolinete+EPN&rlz=1C1AVUC_enEC892EC892&oq=aforo+con+micromolinete+EPN&aqs=chrome..69i57j33.6599j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- INAMHI. (2012). *Anuarios Meteorológicos*. Obtenido de Quito.
- INEN. (2020). *Sevicio Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
- LDIA. (2019). *MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN CANALES USANDO EL MICROMOLINETE*. Quito.
- Loor, S. (Julio de 2017). *ESTUDIO DEL BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS SECTOR SANJUAN Y SAN BARTOLOME EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTORA AGUARONGO*. Obtenido de Tesis pregrado, Cuenca, UPS.
- Monsalve, G. (1995). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Tercer Mundo.
- OMM/UNESCO. (1997). *¿Hay suficiente agua en el mundo?* Obtenido de http://www7.uc.cl/sw_educ/hidrologia/Capitulo_1/aguamundo.pdf
- Ordoñez, C. (2018). *Evaluación de la contaminación del agua mediante parámetros físico químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluente del Lago San Pablo, provincia de Imbabura*. Obtenido de Tesis de Pregrado: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15142/1/T-UCE-0012-067-2018.pdf>

- Ordoñez, J. (2011). *Balance Hidrico Superficial*. Lima: Sociedad Geografica de Lima.
- OTT HydroMet. (2019). *Molinete para la medición del caudal o del flujo OTT C2*. Obtenido de <https://www.ott.com/es-la/productos/caudal-de-agua-84/ott-c2-329/>
- Pardo, A. (2013). *El origen del agua terrestre: la ciencia actual desde la vision de Odón de Buen*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/280297753_El_origen_del_agua_terrestre_la_ciencia_actual_desde_la_vision_de_Odon_de_Buen
- Peón, J. (2007). *El agua , una sustancia tan comun como sorprendente*. Obtenido de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/58_3/PDF/04-545.pdf
- Pepper, I., Gerba, C., & Brusseau, M. (2006). *ENVIRONMENTAL AND POLLUTION SCIENCE*. UK: Academic Press.
- Pourrut, P. (1995). *EL AGUA EN EL ECUADOR Clima, precipitaciones, escorrentía* . Quito: Corporación Editora Nacional .
- Quispe, A. (2017). *Caracterización hidrometereológica y estimación del balance hídrico de la cuenca del rio chambo (Tesis de pregrado) Quito*.
- Rhoades, R. (2006). *DESARROLLO CON IDENTIDAD COMUNIDAD, CULTURA, Y SUSTENTABILIDAD*. Quito: Abya-Yala. Obtenido de https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1086&context=abya_yala
- Running, S., Mu, Q., Zhao, M., & Moreno, A. (Agosto de 2018). *MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3)*.

Obtenido de NASA Earth Observing System MODIS Land Algoritm:
<https://www.nts.gov/ntsg/umt.edu/project/modis/mod16.php>

Samir, C., Zea, J., & Murillo, W. (2006). ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA, EVAÑUACIÓN DE LA RED PLUVIOMETRICA Y CUANTIFICACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO QUITO EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCO, COLOMBIA. *Meteorología Colombiana*, 100-110.

Sanchez, J. (2020). *Apuntes de hidrología e hidrogeología*. Obtenido de <Http://web.usal.es/javisan/hidro>

Sánchez, J. (2020). *Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves*. Obtenido de Departamento Geología Universidad Salamanca: http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf

Sandoval, W., & Aguilera, E. (2014). Determinación de Caudales en cuencas cpon poca información Hidrológica. *Ciencia UNEMI*, 100-110.

SEMARNAT. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en Mexico. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf

Soler, A., Otero, N., Rosell, M., Carrey, R., & Domènech, C. (s.f.). *ISOTOPOS DE LA MOLECULA DEL AGUA*. Obtenido de http://www.ub.edu/minegeo/imagenes/IL3/Tema2_Link2_Isotopos_agua.pdf

Torres, S. (Julio de 2018). *Evaluación del servivio ecosistemico correspondiente a la produccion de agua en la cuenca alta del río guayallabamba utilizando el*

- modelo computacional INVEST*. Obtenido de Tesis de pregrado Escuela Politécnica Nacional.
- UNESCO. (Octubre de 1982). *Guía metodológico para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*.
- Valiente, C. (Diciembre de 1999). Vigilancia Sanitaria del agua: Un nuevo enfoque para municipalidades de Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 8(15), 73-85. Obtenido de Vigilancia sanitaria del agua: un nuevo enfoque para municipalidades de Costa Rica: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14291999000200008
- Vega, E. (2018). *Determinación de alcalinidad total*. Obtenido de Universidad San Ignacio de Loyola: <https://es.slideshare.net/wilmesth/quimica-ambiental-determinacin-de-alcalinidad-total-en-agua-laboratorio-06-usil>
- WHO. (2011). *Guías para la calidad de agua de consumo humano*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq-4-portada-spa.pdf?ua=1

ANEXOS

ANEXO 1

TABLAS ESTADISTICAS CORRESPONDIENTES A DATOS METEORÓLOGICOS

PRECIPITACION MENSUAL (mm) 1990-2012												
ESTACION: Otavalo PROVINCIA: IMBABURA CODIGO: MO105 TIPO: CP						INSTITUCIÓN: INAMHI LATITUD: 0-14-36-N LONGITUD: 78-15-0-W ELEVACIÓN: 2550 msnm						
Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1990	53.5	77.6	42.3	119.1	44.2	18.8	10.7	6.4	21.9	127.8	28.0	35.2
1991	40.5	10.6	179.6	74.3	90.4	32.2	48.2	21.3	26.9	20.2	100.0	64.8
1992	28.7	56.7	54.0	44.2	64.2	22.6	7.3	19.1	41.9	59.1	50.8	82.1
1993	107.7	138.3	213.0	184.3	102.8	3.4	7.7	4.4	75.1	68.8	102.8	136.0
1994	153.9	127.2	136.6	105.1	91.4	6.2	3.5	9.8	54.9	65.4	189.9	97.1
1995	12.5	45.9	71.6	125.9	100.6	50.4	47.0	5.0	24.4	108.0	44.4	55.9
1996	103.5	73.1	116.2	112.2	132.5	94.6	5.6	29.9	39.9	141.5	24.2	81.6
1997	118.6	17.8	212.0	75.9	75.8	56.9	31.5	26.0	85.5	38.5	145.8	36.9
1998	14.4	59.8	79.0	124.6	161.0	25.3	20.3	26.7	21.3	62.1	85.6	34.3
1999	110.7	211.0	80.8	146.5	74.7	86.6	5.9	12.3	100.9	66.8	73.4	151.7
2000	116.1	128.9	168.2	171.9	215.5	76.2	23.4	7.8	57.3	46.3	42.4	59.1
2001	72.7	66.9	149.3	16.2	91.7	6.4	61.2	28.6	91.1	26.5	143.0	38.9
2002	43.7	34.9	54.6	148.4	39.0	51.8	2.7	3.4	29.3	163.6	83.9	95.0
2003	10.1	68.8	47.3	174.6	31.7	38.2	34.8	0.2	51.2	98.7	150.0	65.4
2004	44.6	19.2	41.3	101.1	132.0	6.4	5.3	0.7	64.2	68.2	116.7	60.3
2005	32.6	78.7	95.5	71.5	53.9	13.3	31.7	9.9	31.5	72.3	68.4	94.6
2006	83.7	59.7	223.5	187.7	69.8	53.0	10.8	8.2	10.3	58.6	197.5	199.6
2007	51.5	40.3	169.2	195.5	91.6	53.2	23.6	39.4	6.1	122.8	71.4	72.8
2008	124.1	113.3	192.3	149.1	170.5	88.4	7.1	33.5	26.6	158.1	126.9	64.3
2009	119.6	119.1	173.7	91.0	34.4	42.8	7.1	7.9	17.1	46.3	69.6	112.4
2010	7.7	22.2	36.9	152.4	170.4	57.9	78.8	41.8	74.4	60.3	204.0	80.2
2011	68.5	197.7	73.9	302.1	72.2	40.4	62.0	46.0	69.8	77.6	62.8	120.2
2012	131.7	77.8	81.2	194.5	28.2	7.5	4.3	4.7	11.5	79.7	86.9	28.5
Media	71.8	80.2	117.0	133.4	93.0	40.5	23.5	17.1	44.9	79.9	98.6	81.2

PRECIPITACION MENSUAL (mm) 1990-2012												
ESTACION: Cotacachi PROVINCIA: IMBABURA CODIGO: M317 TIPO: PV						INSTITUCIÓN: INAMHI LATITUD: 0-18-18-N LONGITUD: 78-16-7-W ELEVACIÓN: 2410 msnm						
Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1990	10.7	216.0	137.2	204.8	11.8	27.3	41.2	8.2	54.6	267.1	39.9	35.2
1991	38.7	47.0	353.3	73.7	132.5	51.3	79.8	3.3	143.1	83.6	262.3	50.3
1992	68.4	11.7	92.4	76.0	51.0	41.0	41.4	34.0	146.2	44.2	46.2	64.2
1993	41.6	57.8	435.4	156.1	70.8	30.5	23.8	17.5	94.7	145.5	170.9	75.8
1994	210.5	178.4	189.7	151.8	135.3	32.8	29.6	37.2	91.4	104.0	253.8	142.2
1995	22.2	17.2	6.6	275.2	153.0	156.9	82.4	20.7	16.8	180.6	47.5	73.7
1996	192.1	179.7	220.4	221.2	252.2	93.4	94.6	28.4	126.3	84.0	43.2	77.8
1997	182.7	18.1	169.1	125.1	168.8	69.2	18.3	5.8	42.5	152.9	185.6	14.6
1998	28.1	93.9	179.3	278.9	219.0	107.5	81.7	70.4	187.6	90.2	105.6	18.5
1999	181.6	101.0	145.3	235.6	206.3	142.5	37.5	6.6	62.8	162.6	259.3	163.1
2000	107.0	157.6	323.8	349.9	576.1	104.0	62.8	34.8	31.9	56.7	25.6	78.1
2001	5.2	169.6	130.5	83.1	47.4	43.6	85.6	11.7	37.5	6.9	271.3	190.2
2002	153.9	91.0	55.7	202.5	93.8	35.0	74.2	26.0	20.0	222.2	118.8	92.1
2003	25.4	59.7	103.9	184.3	69.4	70.4	16.3	5.1	22.6	135.7	142.5	159.3
2004	32.8	94.9	18.1	130.2	67.1	20.4	14.5	5.3	83.3	43.6	178.3	86.8
2005	74.8	133.0	147.7	171.7	106.4	59.6	79.7	51.2	130.7	176.8	98.5	157.8
2006	178.1	242.9	389.4	345.7	172.4	132.4	44.2	9.8	65.5	230.6	271.6	238.1
2007	44.8	168.7	249.9	322.2	232.7	216.0	53.8	72.8	48.0	263.1	137.8	228.1
2008	297.4	298.9	308.0	195.1	159.9	50.1	35.8	138.7	135.2	135.0	180.6	179.1
2009	69.4	144.2	362.1	89.1	119.1	41.9	2.1	0.4	25.1	95.7	81.1	139.2
2010	42.8	56.4	69.8	118.2	187.0	72.1	138.4	36.6	116.6	53.9	145.5	97.8
2011	71.9	219.4	127.1	372.6	66.1	57.3	30.9	32.6	43.5	54.7	70.1	109.8
2012	136.4	85.3	77.6	210.6	116.3	6.8	2.6	5.1	7.1	86.3	54.4	54.0
Media	96.4	123.6	186.6	198.9	148.5	72.3	50.9	28.8	75.3	125.0	138.7	109.8

PRECIPITACION MENSUAL (mm) 1990-2012												
ESTACION: Atuntaqui PROVINCIA: IMBABURA CODIGO: M021 TIPO: PV						INSTITUCIÓN: INAMHI LATITUD: 0-21-13-N LONGITUD: 78-13-39-W ELEVACIÓN: 2200 msnm						
Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1990	20.4	83.7	20.6	47.8	43.3	12.0	0.0	5.6	12.8	93.2	20.1	34.4
1991	17.8	1.0	133.5	29.3	116.0	46.7	0.0	3.4	39.0	23.4	81.7	56.0
1992	29.6	50.1	48.1	40.9	28.8	26.5	12.0	7.7	73.2	31.9	46.4	37.8
1993	17.1	84.9	145.3	98.5	75.8	0.5	10.4	2.8	70.3	42.1	39.3	48.0
1994	121.0	101.6	108.4	85.4	75.4	13.2	11.2	15.8	48.8	56.4	147.3	79.6
1995	0.0	69.3	54.6	92.8	29.9	79.3	0.0	60.4	0.0	136.3	2.8	87.7
1996	113.4	58.2	104.4	392.4	243.0	261.1	43.3	30.5	37.8	112.0	3.2	28.5
1997	53.2	37.9	53.0	102.2	62.5	17.9	0.0	0.0	52.9	12.7	41.3	45.2
1998	0.0	15.4	83.9	116.0	132.5	20.2	20.1	16.9	9.8	88.8	80.9	28.9
1999	94.1	210.9	89.8	155.0	87.0	65.0	14.0	23.7	99.7	78.3	79.0	128.5
2000	106.7	131.8	125.4	119.8	271.9	65.6	0.0	0.0	61.0	42.5	39.6	51.8
2001	137.0	36.0	81.8	4.9	79.4	19.0	21.3	0.0	31.5	0.0	51.0	46.9
2002	40.4	19.6	40.0	81.3	37.2	44.7	3.2	11.2	19.5	90.0	96.3	64.6
2003	4.8	62.9	22.6	104.6	27.7	57.2	26.4	5.8	48.0	105.0	158.0	54.8
2004	38.3	13.1	27.3	74.3	71.9	9.3	21.1	0.0	8.4	58.5	93.9	52.7
2005	32.5	66.1	78.4	60.9	48.0	18.4	31.8	15.9	31.7	61.5	58.6	77.7
2006	34.2	34.5	155.9	114.4	56.5	51.4	8.0	9.6	3.4	79.1	156.6	176.6
2007	39.9	56.6	186.6	252.7	58.0	63.4	7.6	37.9	2.0	100.9	56.2	62.6
2008	81.5	74.0	133.5	162.9	38.5	40.8	6.4	36.1	21.1	147.0	69.3	86.9
2009	111.7	85.5	188.5	111.2	34.6	50.2	8.6	1.6	19.7	58.4	35.8	149.0
2010	27.7	67.7	55.4	182.0	135.0	78.1	63.4	44.3	75.9	56.8	236.0	107.2
2011	44.0	117.0	62.6	11.0	66.6	41.6	38.4	40.5	14.2	49.0	53.8	64.0
2012	107.0	73.4	111.9	173.6	31.3	10.0	4.0	0.0	3.1	36.7	41.6	49.0
Media	55.3	67.4	91.8	113.6	80.5	47.5	15.3	16.1	34.1	67.8	73.4	70.4

TEMPERATURA MEDIA (°C) 1990-2012												
ESTACION: Otavalo						INSTITUCIÓN: INAMHI						
PROVINCIA: IMBABURA						LATITUD: 0-14-36-N						
CODIGO: MO105						LONGITUD: 78-15-0-W						
TIPO: CP						ELEVACIÓN: 2550 msnm						
Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1990	14.8	14.8	15.1	15.2	15.0	15.4	13.9	14.5	15.2	15.2	15.5	15.0
1991	14.8	15.0	15.3	14.6	14.9	14.8	14.4	13.9	15.1	14.4	14.8	15.3
1992	14.9	14.8	15.2	13.5	14.5	15.1	13.9	14.2	14.5	14.7	15.1	15.1
1993	14.4	14.4	14.0	14.8	14.9	15.1	14.3	14.4	14.6	15.2	15.4	15.1
1994	14.4	14.4	14.4	14.7	14.7	14.4	14.3	14.0	14.9	15.3	14.8	15.1
1995	14.8	14.5	14.9	15.3	14.8	15.1	14.4	14.6	14.7	15.1	14.8	14.8
1996	14.1	13.9	14.7	14.8	14.9	14.5	14.0	14.4	15.3	14.8	14.9	14.9
1997	14.5	14.7	15.4	14.9	15.0	14.6	14.5	15.0	15.0	15.8	15.1	15.4
1998	15.8	16.2	15.9	16.0	15.3	14.6	14.0	14.5	14.7	15.3	15.3	14.9
1999	14.6	14.2	14.3	14.3	13.9	13.8	14.2	13.7	14.0	14.2	14.7	14.2
2000	13.8	13.7	14.1	14.4	14.1	14.3	14.0	14.2	13.9	14.8	14.6	14.8
2001	13.7	14.5	14.3	14.7	14.7	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	15.4
2002	15.1	14.9	14.9	14.8	15.1	14.4	14.9	14.8	15.0	14.9	14.8	15.1
2003	15.1	15.4	14.8	15.0	15.1	14.5	14.5	14.9	14.9	15.5	15.4	14.9
2004	15.0	14.3	15.4	15.2	15.1	15.0	14.5	14.7	14.7	15.5	15.7	15.4
2005	15.2	15.3	15.0	15.5	15.2	15.1	14.7	14.8	15.2	15.3	15.2	14.9
2006	14.9	15.4	15.5	15.1	15.4	14.4	14.2	14.5	14.3	15.4	15.0	15.2
2007	14.9	14.2	14.7	14.7	14.8	14.0	14.1	13.9	13.8	14.7	14.6	14.0
2008	14.1	13.8	13.9	14.1	14.4	14.3	13.6	14.0	14.4	14.4	14.7	14.7
2009	14.4	14.3	14.8	14.7	14.6	14.5	14.7	15.0	14.9	15.3	15.7	15.4
2010	15.0	15.6	15.4	15.8	15.6	14.8	14.1	13.8	14.2	14.7	14.4	14.1
2011	14.2	14.4	14.2	14.4	15.0	14.4	14.0	14.2	14.1	14.1	14.7	14.4
2012	14.2	13.9	14.5	14.3	14.2	14.3	14.8	14.4	14.9	14.8	15.2	14.4
Media	14.6	14.6	14.8	14.8	14.8	14.6	14.3	14.4	14.6	15.0	15.0	14.9

TEMPERATURA MÁXIMA (°C) 1990-2012

ESTACION: Otavalo
PROVINCIA: IMBABURA
CODIGO: MO105
TIPO: CP

INSTITUCIÓN: INAMHI
LATITUD: 0-14-36-N
LONGITUD: 78-15-0-W
ELEVACIÓN: 2550 msnm

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1990	23.0	23.5	24.2	24.6	22.7	24.0	23.2	24.7	24.8	23.6	23.7	23.7
1991	24.0	24.0	24.1	23.8	24.5	25.2	23.5	24.1	24.6	23.7	22.5	24.0
1992	24.6	24.0	23.9	24.3	24.2	24.5	23.3	24.5	24.8	24.6	24.9	23.7
1993	23.5	23.0	22.7	22.9	22.6	24.7	24.7	24.6	24.0	24.2	23.4	22.9
1994	22.1	23.7	22.6	23.2	23.6	22.7	23.5	23.7	25.4	23.8	22.4	22.8
1995	22.8	25.3	24.4	23.6	23.9	23.0	23.3	23.6	25.8	25.2	24.1	24.1
1996	22.0	24.0	24.0	24.0	23.0	23.7	24.5	23.5	24.0	23.7	24.2	23.5
1997	24.1	23.5	23.6	23.0	23.2	24.0	24.5	24.0	24.1	26.6	24.1	24.4
1998	24.6	24.7	26.0	24.7	25.0	23.0	25.0	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7
1999	23.1	23.1	22.5	24.0	23.5	22.0	23.1	24.0	22.0	23.1	23.5	23.1
2000	22.0	21.5	22.0	21.8	21.0	25.0	24.5	24.5	23.5	25.5	24.5	25.5
2001	23.5	24.7	24.0	25.0	25.0	24.7	24.7	24.7	25.0	24.7	24.7	25.5
2002	24.5	24.5	25.0	25.0	24.5	25.0	25.5	24.9	26.0	25.0	24.0	24.5
2003	25.4	25.5	25.4	24.8	25.0	24.5	25.0	25.5	25.4	29.0	26.0	23.5
2004	24.5	25.5	25.5	26.5	25.0	24.0	24.5	26.0	25.0	25.0	24.5	24.0
2005	25.0	25.7	29.5	25.0	26.5	25.5	25.5	25.7	26.0	25.7	24.5	24.0
2006	23.5	24.6	24.5	24.5	24.5	25.0	25.0	24.6	24.6	26.0	24.5	24.0
2007	24.6	25.0	23.5	24.0	25.0	24.6	25.0	23.5	25.0	25.5	24.5	24.6
2008	23.5	24.1	24.0	24.0	24.0	24.5	24.0	25.0	25.0	24.5	24.0	23.0
2009	23.5	24.0	24.5	24.5	25.0	25.0	25.0	25.0	26.0	31.0	26.5	28.0
2010	26.0	27.0	27.0	26.5	25.5	23.5	24.0	25.0	25.5	25.5	25.3	22.5
2011	23.0	24.0	23.0	24.0	24.0	23.0	23.5	24.0	24.2	24.0	25.5	23.5
2012	24.0	22.0	24.0	24.1	23.0	24.5	24.5	24.1	26.5	25.0	24.5	23.0
Media	23.8	24.2	24.3	24.3	24.1	24.2	24.3	24.5	24.9	25.2	24.4	24.0

TEMPERATURA MÍNIMA (°C) 1990-2012												
ESTACION: Otavalo						INSTITUCIÓN: INAMHI						
PROVINCIA: IMBABURA						LATITUD: 0-14-36-N						
CODIGO: MO105						LONGITUD: 78-15-0-W						
TIPO: CP						ELEVACIÓN: 2550 msnm						
Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1990	3.1	5.3	5.1	5.6	5.5	3.5	1.0	2.5	3.1	5.0	4.1	2.1
1991	4.7	5.2	7.0	5.0	6.0	6.0	4.5	2.5	2.6	3.1	5.5	4.5
1992	3.0	20.0	9.0	19.0	18.0	24.0	18.0	26.0	8.0	27.0	28.0	28.0
1993	4.5	4.2	4.7	6.4	6.5	5.0	1.5	1.2	3.2	5.9	5.4	5.2
1994	4.3	4.5	5.8	6.0	6.2	3.3	3.2	1.8	2.1	5.5	5.8	5.0
1995	4.5	2.3	3.4	6.0	5.7	7.0	5.0	5.0	3.5	4.2	4.7	4.7
1996	5.5	5.5	6.0	6.0	5.5	4.2	3.0	4.2	3.0	4.2	4.2	3.0
1997	3.1	1.0	2.5	3.1	2.6	2.5	3.0	2.0	3.5	3.1	4.2	6.4
1998	5.0	4.5	5.5	4.0	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	3.5	4.1	2.5
1999	4.7	4.7	4.7	4.7	6.5	5.0	3.0	2.0	4.5	4.7	7.0	4.7
2000	3.5	3.5	7.0	7.5	3.8	6.0	3.4	4.0	4.2	3.1	1.8	3.8
2001	3.0	3.1	3.1	3.4	4.0	1.6	3.1	3.1	1.4	3.1	3.1	5.4
2002	0.2	1.8	2.0	2.8	4.0	3.2	3.2	3.2	1.8	4.8	5.0	6.0
2003	5.4	5.4	5.0	5.4	7.4	5.0	4.2	4.2	5.4	6.2	5.4	6.0
2004	3.0	3.4	4.6	5.6	7.0	4.0	4.5	4.6	3.5	4.6	6.0	4.0
2005	3.0	4.4	7.0	6.5	4.0	3.5	3.0	3.5	4.0	4.5	4.4	4.5
2006	4.0	2.8	3.5	5.0	2.5	1.5	1.0	2.8	2.8	1.0	2.8	4.0
2007	2.0	1.5	3.0	7.0	7.5	4.1	4.1	2.8	3.5	5.2	4.4	4.1
2008	5.8	4.4	5.4	6.0	6.0	4.8	3.4	3.0	1.8	5.0	6.4	6.0
2009	6.8	4.6	4.3	6.0	4.0	5.0	3.0	3.0	2.0	3.0	4.0	6.0
2010	2.0	0.2	3.0	6.8	5.8	5.4	4.0	3.0	3.0	3.0	3.4	6.0
2011	3.0	4.4	2.0	4.6	2.5	3.5	3.0	3.0	3.8	3.2	1.8	3.0
2012	4.8	5.0	4.8	3.4	3.0	3.0	3.6	1.8	1.6	3.0	4.2	2.8
Media	3.9	4.4	4.7	5.9	5.6	5.0	3.9	4.0	3.3	5.0	5.5	5.5

	Estación M105		Estación M317		Estación M021	
	P_anual	P_acumulada	P_anual	P_acumulada	P_anual	P_acumulada
1990	2575.5	2575.5	1054	1054.00	2349.5	2349.5
1991	2659.5	5235	1318.9	2372.90	2377.7	5009
1992	2522.7	7757.7	716.7	3089.60	2256.3	7531.7
1993	3137.3	10895	1320.4	4410.00	2628	10669
1995	2586.3	13481.3	1052.8	5462.80	2608.1	13255.3
1996	2950.8	16432.1	1613.3	7076.10	3243.5	16206.1
1997	2860.7	19292.8	1152.7	8228.80	2475.8	19066.8
1998	2712.4	22005.2	1241.7	9470.50	2611.4	21779.2
1999	3120.3	25125.5	1704.2	11174.70	3124	24899.5
2000	3113.1	28238.6	1873.5	13048.20	2882.2	28012.6
2001	2534.2	30772.8	1082.6	14130.80	2509.8	30546.8
2002	2752.3	33525.1	963	15093.80	2550	33299.1
2003	2774	36299.1	994.6	16088.40	2680.8	36073.1
2004	2664	38963.1	775.3	16863.70	2267.7	38737.1
2005	2658.9	41622	1387.9	18251.60	2005	41396
2006	3168.4	44790.4	2320.7	20572.30	2886.2	44564.4
2007	2944.4	47734.8	1911.3	22483.60	2931.4	47508.8
2008	3262.2	50997	2113.8	24597.40	2867.5	50771
2009	2850	53847	1169.4	25766.80	2863.8	53621
2010	2997	56844	1065.3	26832.10	3139.5	56618
2011	3204.2	60048.2	1256	28088.10	2551.1	59822.2
2012	2748.5	62796.7	842.5	28930.60	2653.6	62570.7

Cálculo de velocidad media y caudal												
Realizado: Oscar Sandoval												
Lugar: Punto de cierre de la cuenca La Marquesa												
Fecha: Junio 2019												
Área canal = $(h_{máx} * a * 0,067)$; $h_{máx} = 0.46$; $a = 0.9$, (Hidalgo, 2017)												
Ecuación del molinete: $v = 0.0618 * n + 0.016$; si $n \leq 2.08$												
Caudal												
Día	Revoluciones	Distancia horizontal	Profundidad	Calado	Promedio de revoluciones	T	Velocidad Angular	Velocidad Puntual	Velocidad media	Área	Caudal Parcial	Caudal Total
	m	m	m	rev	[s]	n (rev/s)	V (m/s)	Vm (m/s)	A m ²	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
	48.9	0.3	0.25	0.42	47.50	30	1.58	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0315
	47.3											
	46.3											
01-jun	48.1	0.6	0.25	0.41	47.67	30	1.59	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0315
	47.3											
	47.6											
	49.9	0.3	0.25	0.42	48.53	30	1.62	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0317
	47.1											
	48.6											
02-jun	48.2	0.6	0.25	0.41	47.27	30	1.58	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0317
	44.2											
	49.4											
	48.1	0.3	0.25	0.42	48.83	30	1.63	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0317
	49.5											
	48.9											
03-jun	47.4	0.6	0.25	0.41	47.20	30	1.57	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0317
	47.8											
	46.4											

04-jun	49.5	0.3	0.6d	0.42	49.00	30	1.63	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0316
	48											
04-jun	49.5	0.6	0.6d	0.41	46.47	30	1.55	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0314
	46.5											
04-jun	46.4	0.3	0.6d	0.42	46.53	30	1.55	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0314
	46.2											
05-jun	47	0.6	0.6d	0.41	48.17	30	1.61	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0314
	47.5											
05-jun	48.4	0.3	0.6d	0.42	47.17	30	1.57	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0310
	48.6											
06-jun	48.5	0.6	0.6d	0.41	46.17	30	1.54	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0310
	45.4											
06-jun	45.4	0.3	0.6d	0.42	47.53	30	1.58	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0306
	45.3											
07-jun	47.8	0.6	0.6d	0.41	44.43	30	1.48	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0320
	47.3											
07-jun	46.4	0.3	0.6d	0.42	47.97	30	1.60	0.11	0.12	0.28	0.03	0.0320
	48.9											
08-jun	47.6	0.6	0.6d	0.41	48.97	30	1.63	0.12	0.12	0.28	0.03	0.0320
	42.3											
08-jun	43.4	0.3	0.6d	0.42	48.97	30	1.63	0.12	0.12	0.28	0.03	0.0320
	49.7											
08-jun	46.3	0.6	0.6d	0.41	48.97	30	1.63	0.12	0.12	0.28	0.03	0.0320
	47.9											
08-jun	48.4	0.3	0.6d	0.42	48.97	30	1.63	0.12	0.12	0.28	0.03	0.0320
	48.9											
08-jun	49.6	0.6	0.6d	0.41	48.97	30	1.63	0.12	0.12	0.28	0.03	0.0320

09-jun	48.6	0.3	0.6d	0.42	48.13	30	1.60	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0317
	47.6											
	48.2											
09-jun	46.2	0.6	0.25	0.41	47.77	30	1.59	0.11	0.11	0.03	0.0314	0.0314
	47.6											
	49.5											
10-jun	44.8	0.3	0.6d	0.42	46.87	30	1.56	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0314
	47.5											
	48.3											
10-jun	46.5	0.6	0.25	0.41	48.10	30	1.60	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0314
	49.4											
	48.4											
11-jun	45.4	0.3	0.6d	0.42	46.53	30	1.55	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0314
	48.6											
	45.6											
11-jun	49.7	0.6	0.25	0.41	48.27	30	1.61	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0314
	48.2											
	46.9											
12-jun	48.6	0.3	0.6d	0.42	48.47	30	1.62	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0317
	48.2											
	48.6											
12-jun	44.9	0.6	0.25	0.41	47.60	30	1.59	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0317
	48.2											
	49.7											
13-jun	48.3	0.3	0.6d	0.42	48.63	30	1.62	0.12	0.12	0.28	0.03	0.0320
	49.5											
	48.1											
13-jun	47.2	0.6	0.25	0.41	48.17	30	1.61	0.12	0.12	0.28	0.03	0.0320
	48.7											
	48.6											

14-jun	49.6	0.3	0.6d	0.42	48.27	30	1.61	0.12	0.28	0.03	0.0318
	48.4										
14-jun	46.8	0.6	0.6d	0.41	47.87	30	1.60	0.11	0.28	0.03	0.0316
	47.1										
14-jun	49.3	0.3	0.6d	0.42	48.00	30	1.60	0.11	0.28	0.03	0.0316
	47.2										
14-jun	48.3	0.6	0.6d	0.41	47.63	30	1.59	0.11	0.28	0.03	0.0316
	47.3										
15-jun	48.4	0.3	0.6d	0.42	47.63	30	1.59	0.11	0.28	0.03	0.0314
	49.5										
15-jun	46.7	0.6	0.6d	0.41	47.07	30	1.57	0.11	0.28	0.03	0.0314
	46.7										
15-jun	46.7	0.6	0.6d	0.41	48.10	30	1.60	0.12	0.28	0.03	0.0318
	45.7										
16-jun	49.4	0.3	0.6d	0.42	47.63	30	1.59	0.11	0.28	0.03	0.0314
	47.8										
16-jun	45.9	0.6	0.6d	0.41	47.07	30	1.57	0.11	0.28	0.03	0.0314
	48.5										
16-jun	46.8	0.3	0.6d	0.42	48.10	30	1.60	0.12	0.28	0.03	0.0318
	47.9										
17-jun	47.8	0.6	0.6d	0.41	48.10	30	1.60	0.12	0.28	0.03	0.0318
	48.6										
17-jun	49.2	0.3	0.6d	0.42	48.63	30	1.62	0.12	0.28	0.03	0.0321
	49.4										
17-jun	45.7	0.6	0.6d	0.41	48.60	30	1.62	0.12	0.28	0.03	0.0321
	49.7										
18-jun	48.4	0.3	0.6d	0.42	48.60	30	1.62	0.12	0.28	0.03	0.0321
	47.8										
18-jun	49.9	0.6	0.6d	0.41	48.60	30	1.62	0.12	0.28	0.03	0.0321
	49										
18-jun	46.9	0.6	0.6d	0.41	48.60	30	1.62	0.12	0.28	0.03	0.0321

19-jun	43.2	0.3	0.6d	0.42	43.07	30	1.44	0.10	0.11	0.28	0.03	0.0303	
	42												0.25
	44												0.25
20-jun	48.6	0.6	0.6d	0.41	48.10	30	1.60	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0312	
	49												0.25
	46.7												0.25
21-jun	45.9	0.3	0.6d	0.42	46.90	30	1.56	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0310	
	47.9												0.25
	46.9												0.25
22-jun	46	0.6	0.6d	0.41	47.43	30	1.58	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0314	
	48.7												0.25
	47.6												0.25
23-jun	49	0.3	0.6d	0.42	46.57	30	1.55	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0310	
	44.9												0.25
	45.8												0.25
21-jun	45.7	0.6	0.6d	0.41	46.87	30	1.56	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0310	
	47.9												0.25
	47												0.25
22-jun	48.6	0.3	0.6d	0.42	48.80	30	1.63	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0317	
	48.9												0.25
	48.9												0.25
23-jun	47.8	0.6	0.6d	0.41	47.17	30	1.57	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0314	
	47												0.25
	46.7												0.25
21-jun	46.8	0.3	0.6d	0.42	46.67	30	1.56	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0314	
	45.6												0.25
	47.6												0.25
23-jun	48.7	0.6	0.6d	0.41	48.13	30	1.60	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0314	
	47.9												0.25
	47.8												0.25

24-jun	49.7	0.3	0.6d	0.42	49.23	30	1.64	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0314	
	48.7												0.25
	49.3												0.25
25-jun	44.4	0.6	0.41	46.67	30	1.56	0.11	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0302	
	45.8												0.25
	47.2												0.25
	47												
	45												0.25
	48												0.25
26-jun	45.2	0.6	0.41	44.13	30	1.47	0.10	0.10	0.10	0.28	0.03	0.0282	
	42.2												0.25
	40.3												0.25
	40.2												0.25
	40.7												0.25
	43.5												0.25
27-jun	43	0.6	0.41	43.10	30	1.44	0.11	0.11	0.11	0.28	0.03	0.0310	
	42.8												0.25
	40												0.25
	49.4												0.25
	48.9												0.25
	44.5												0.25
28-jun	48.4	0.6	0.41	47.50	30	1.58	0.11	0.11	0.12	0.28	0.03	0.0318	
	49.6												0.25
	49												0.25
	44.7												0.25
	49.6												0.25
	48.6												0.25
28-jun	48.3	0.6	0.41	48.40	30	1.61	0.12	0.12	0.12	0.28	0.03	0.0318	
	48.3												0.25
	48.3												0.25

29-jun	49	0.3	0.6d	0.42	47.80	30	1.59	0.11	0.12	0.28	0.03	0.0319	
	49.6		0.25										
	44.8	0.6	0.25	0.41	48.90	30	1.63	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0313	
	48.5												
	48.6												
	49.6												
	30-jun	47.6	0.3	0.6d	0.42	48.10	30	1.60	0.12	0.11	0.28	0.03	0.0313
		48.9											
		47.8	0.6	0.25	0.41	46.27	30	1.54	0.11	0.12	0.28	0.03	0.0313
		48											
45													
45.8													

04-oct	60	0.3	0.6d	0.42	58.93	30	1.96	0.14	0.28	0.04	0.0382	
	58.8											0.25
	58		0.6	0.6d	0.41	59.97	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0388
	59.8											
	60.1			0.6d	0.42	60.57	30	2.02	0.14	0.28	0.04	0.0388
	59.6											
60	0.6	0.6d	0.41	60.40	30	2.01	0.14	0.28	0.04	0.0388		
59											0.25	
62.2		0.6d	0.42	61.70	30	2.06	0.14	0.28	0.04	0.0389		
62.2											0.25	
61.9			0.6d	0.41	59.60	30	1.99	0.14	0.28	0.04	0.0386	
61												0.25
58.9	0.6	0.6d	0.41	60.13	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0386		
60.1											0.25	
59.8		0.6d	0.42	59.97	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0380		
59.1											0.25	
59.1			0.6d	0.41	58.27	30	1.94	0.14	0.28	0.04	0.0380	
62.2												0.25
59	0.6	0.6d	0.41	59.90	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0380		
60											0.25	
60.9		0.6d	0.42	59.90	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0380		
57.7											0.25	
56.9			0.6d	0.41	59.90	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0380	
60.2												0.25
60	0.6d	0.41	59.90	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0380			
59.9										0.25		
59.8	0.6	0.6d	0.41	59.90	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0380		

09-oct	60.1	0.3	0.6d	0.42	60.73	30	2.02	0.14	0.28	0.04	0.0386	
	60											0.25
09-oct	62.1	0.6	0.6d	0.41	59.47	30	1.98	0.14	0.28	0.04	0.0383	
	59											0.25
	58.9											0.25
	60.5											0.25
10-oct	60.7	0.3	0.6d	0.42	58.90	30	1.96	0.14	0.28	0.04	0.0383	
	58.9											0.25
	57.1											0.25
	59											0.25
10-oct	60.5	0.6	0.6d	0.41	60.07	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0383	
	60.7											0.25
	62.7											0.25
	58.1											0.25
11-oct	57.2	0.3	0.6d	0.42	59.33	30	1.98	0.14	0.28	0.04	0.0383	
	59.6											0.25
	60											0.25
	60.1											0.25
11-oct	58.6	0.6	0.6d	0.41	59.90	30	2.00	0.14	0.28	0.04	0.0380	
	62.5											0.25
	57.1											0.25
	60.1											0.25
12-oct	58.1	0.3	0.6d	0.42	59.40	30	1.98	0.14	0.28	0.04	0.0380	
	57.8											0.25
	58.5											0.25
	59.7											0.25
12-oct	59.6	0.6	0.6d	0.41	58.67	30	1.96	0.14	0.28	0.04	0.0388	
	60.2											0.25
	61.3											0.25
	63.2											0.25
13-oct	60.2	0.3	0.6d	0.42	59.27	30	1.98	0.14	0.28	0.04	0.0388	
	61.3											0.25
13-oct	61.3	0.6	0.6d	0.41	61.57	30	2.05	0.14	0.28	0.04	0.0388	
	63.2											0.25

14-oct	64.2	0.3	0.6d	0.42	61.80	30	2.06	0.14	0.14	0.28	0.04	0.0393	
	60.5												0.25
	60.7												0.25
14-oct	59.5	0.6	0.6d	0.41	60.97	30	2.03	0.14	0.14	0.28	0.04	0.0385	
	60.7												0.25
	62.7												0.25
	58.9												
	57.8												
15-oct	57.4	0.3	0.6d	0.42	58.03	30	1.93	0.14	0.14	0.28	0.04	0.0385	
	60.4												0.25
	62.4												0.25
	62.4												0.25
	62.3												
16-oct	61.9	0.3	0.6d	0.42	62.37	30	2.08	0.14	0.14	0.28	0.04	0.0395	
	62.9												0.25
	60.1												
	60.2												
	62.5												0.25
17-oct	63.7	0.6	0.6d	0.41	60.93	30	2.03	0.14	0.14	0.28	0.04	0.0399	
	62.7												0.25
	61.2												0.25
	61.6												
	63												
18-oct	62.2	0.3	0.6d	0.42	62.53	30	2.08	0.14	0.14	0.28	0.04	0.0398	
	62.2												0.25
	62.3												0.25
	62												
	62.9												
18-oct	61.9	0.6	0.6d	0.41	62.10	30	2.07	0.14	0.14	0.28	0.04	0.0398	
	61.5												0.25
	61.5												0.25

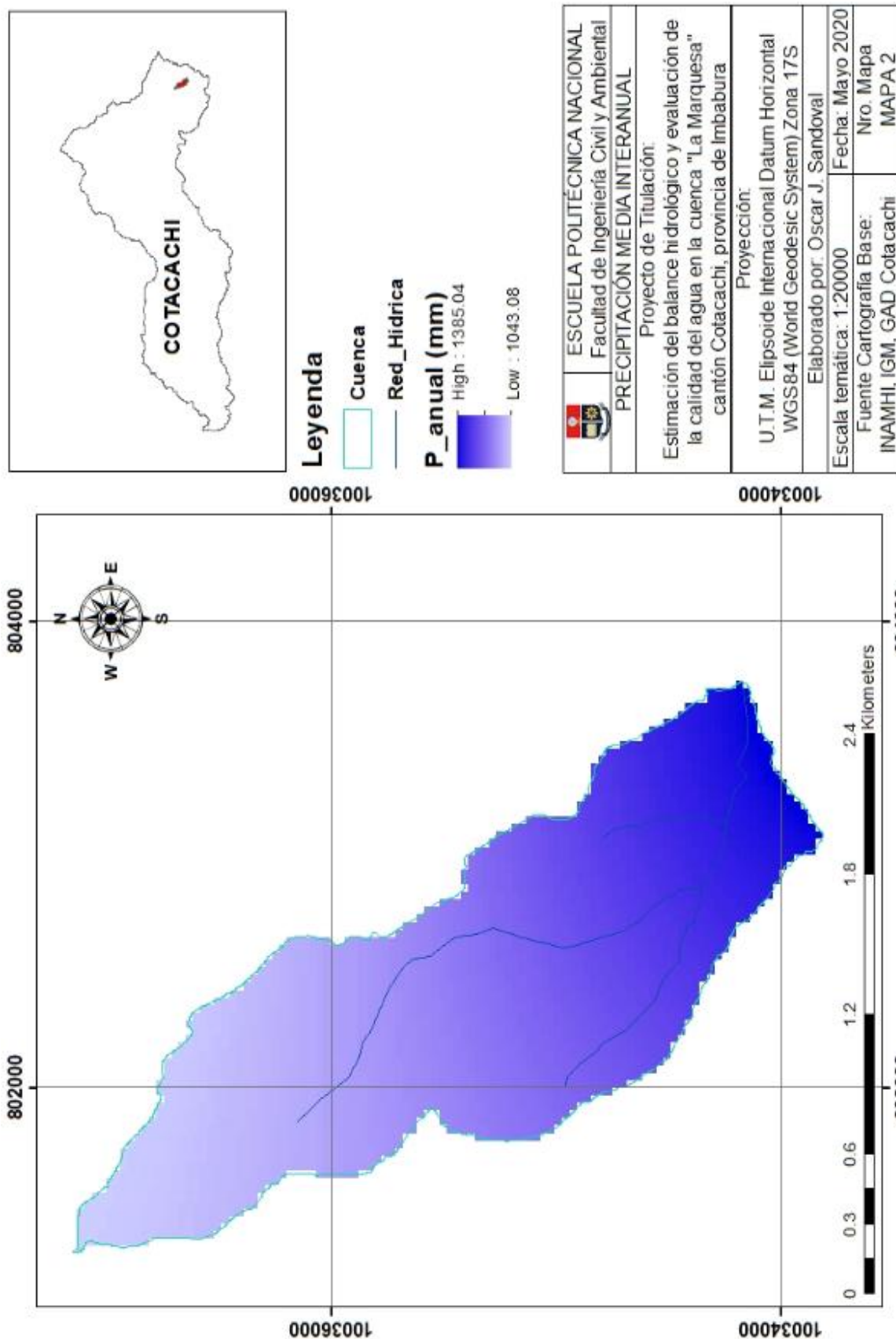
19-oct	60.5	0.3	0.6d	0.42	60.80	30	2.03	0.14	0.28	0.04	0.0393
	60.2										
	61.7										
	61.5										
	62.5										
	61.9										
20-oct	60.6	0.6	0.6d	0.41	61.83	30	2.06	0.14	0.28	0.04	0.0392
	65.1										
	59.8										
	60.1										
	59.9										
	61.8										
21-oct	61.6	0.3	0.6d	0.42	62.40	30	2.08	0.14	0.28	0.04	0.0395
	61.8										
	63.8										
	61.9										
	61.5										
	59.9										
22-oct	59.2	0.6	0.6d	0.41	61.10	30	2.04	0.14	0.28	0.04	0.0385
	59.6										
	57.1										
	61.5										
	61.7										
	60.9										
23-oct	60.5	0.3	0.6d	0.42	61.37	30	2.05	0.14	0.28	0.04	0.0397
	61.7										
	62.5										
	61.7										
	63.8										
	62.4										

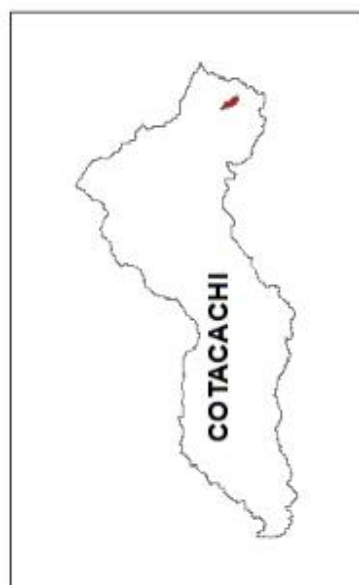
24-oct	61	0.3	0.6d	0.42	61.73	30	2.06	0.14	0.28	0.04	0.0398		
	62.1											0.25	0.14
	62.1	0.6	0.6d	0.41	62.67	30	2.09	0.15	0.28	0.04	0.0394		
	60.5											0.25	0.14
	65.1											0.25	0.14
	62.4											0.25	0.14
25-oct	64.1	0.3	0.6d	0.42	62.40	30	2.08	0.14	0.28	0.04	0.0394		
	63.2											0.25	0.14
	59.9	0.6	0.6d	0.41	60.73	30	2.02	0.14	0.28	0.04	0.0394		
	60.5											0.25	0.14
	60.8											0.25	0.14
	60.9											0.25	0.14
26-oct	62.7	0.3	0.6d	0.42	61.70	30	2.06	0.14	0.28	0.04	0.0394		
	61.9											0.25	0.14
	60.5	0.6	0.6d	0.41	61.47	30	2.05	0.14	0.28	0.04	0.0394		
	60.2											0.25	0.14
	62.7											0.25	0.14
	61.5											0.25	0.14
27-oct	59.9	0.3	0.6d	0.42	62.17	30	2.07	0.14	0.28	0.04	0.0392		
	65.1											0.25	0.14
	61.5	0.6	0.6d	0.41	60.20	30	2.01	0.14	0.28	0.04	0.0382		
	61											0.25	0.13
	59.1											0.25	0.14
	60.5											0.25	0.14
28-oct	60.2	0.3	0.6d	0.42	56.77	30	1.89	0.13	0.28	0.04	0.0382		
	50											0.25	0.14
	60.1	0.6	0.6d	0.41	62.03	30	2.07	0.14	0.28	0.04	0.0382		
	61.3											0.25	0.14
	62.7											0.25	0.14
	62.1											0.25	0.14

29-oct	62.5	0.3	0.6d	0.42	62.43	30	2.08	0.14	0.28	0.04	0.0400
	62.9										
	61.9										
29-oct	60.5	0.6	0.6d	0.41	62.53	30	2.08	0.14	0.28	0.04	0.0400
	61.6										
	65.5										
30-oct	61.3	0.3	0.6d	0.42	62.37	30	2.08	0.14	0.28	0.04	0.0399
	62.3										
	63.5										
30-oct	63.8	0.6	0.6d	0.41	62.50	30	2.08	0.14	0.28	0.04	0.0399
	62.9										
	60.8										
31-oct	63.1	0.3	0.6d	0.42	62.60	30	2.09	0.14	0.28	0.04	0.0400
	60.9										
	63.8										
31-oct	60.5	0.6	0.6d	0.41	62.53	30	2.08	0.14	0.28	0.04	0.0400
	64.2										
	62.9										

ANEXO 2

MAPAS DE LA CUENCA





10036000

Leyenda

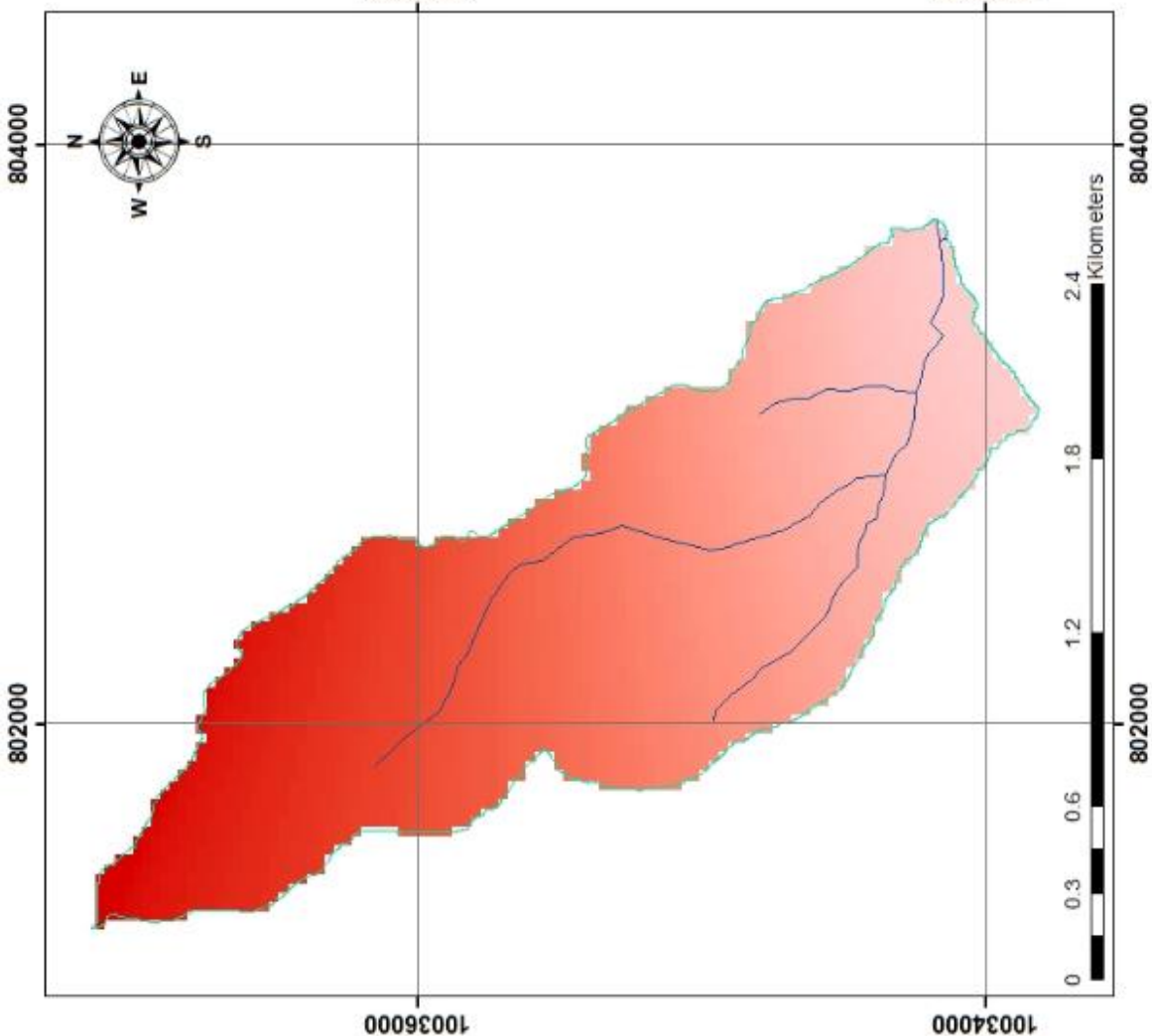
Cuenca

Red_Hidrica

T_media °C

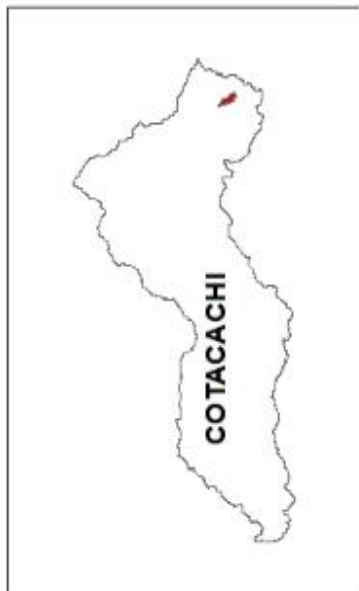
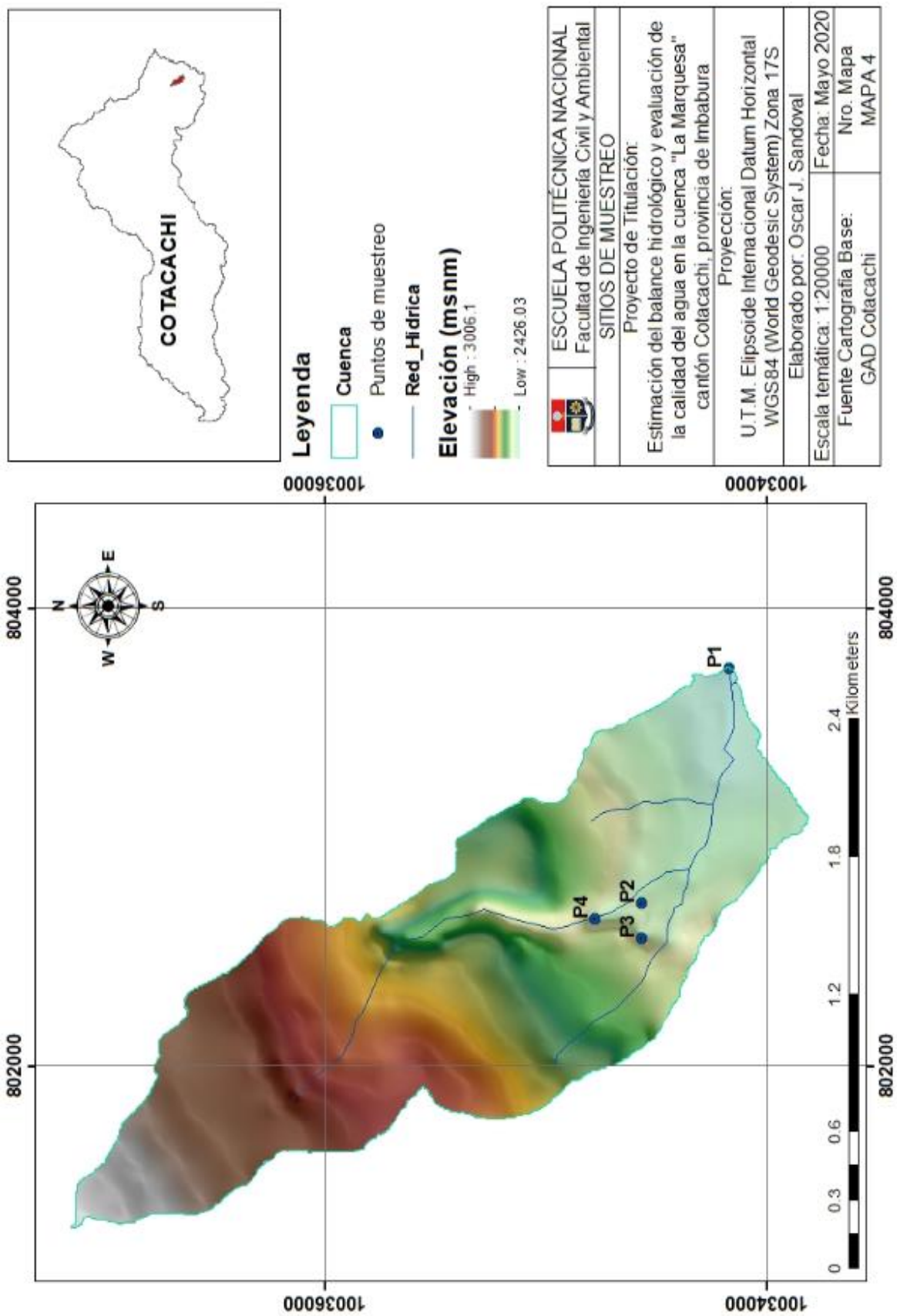
High : 15.5811

Low : 15.1929



	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
TEMPERATURA MEDIA ANUAL	
Proyecto de Titulación: Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura	
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S	
Elaborado por: Oscar J. Sandoval	
Escala temática: 1:20000	Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI, IGM, GAD Cotacachi	Nro. Mapa: MAPA 3

10034000



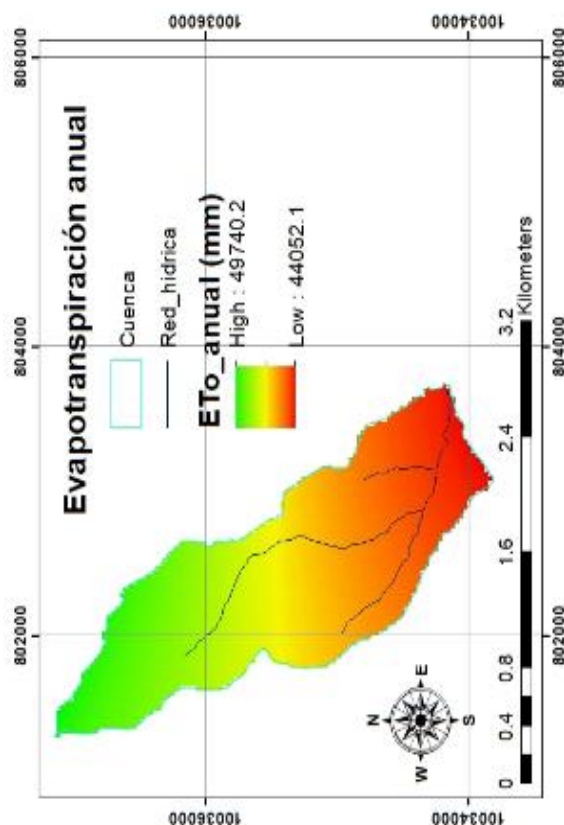
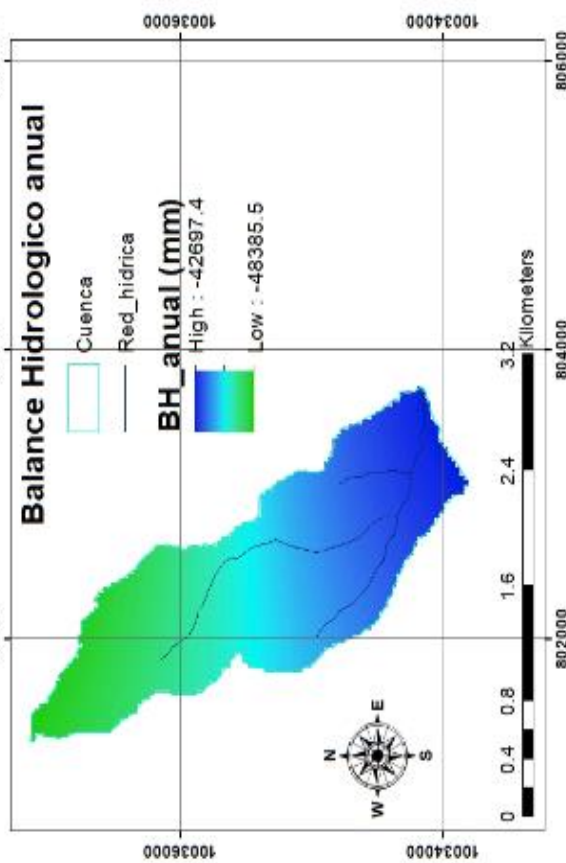
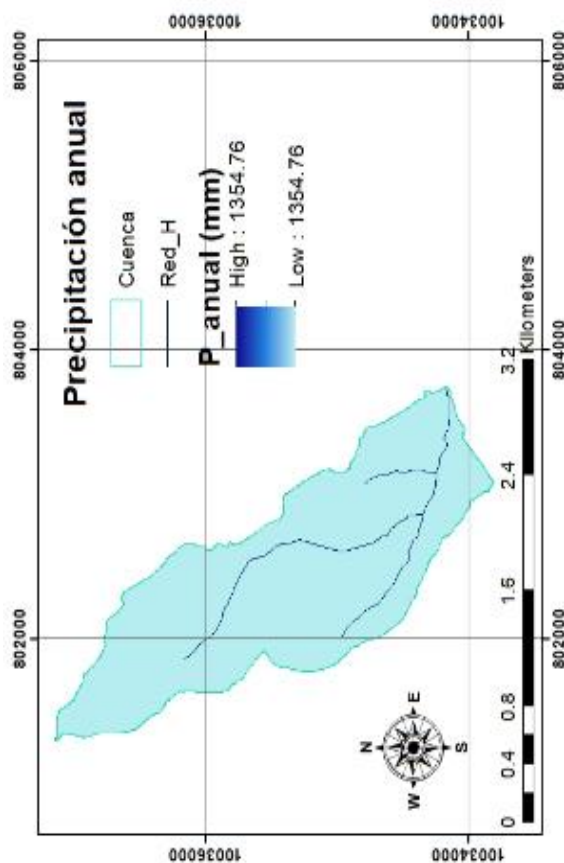
Leyenda


- Cuenca
- Puntos de muestreo
- Red_Hidrica

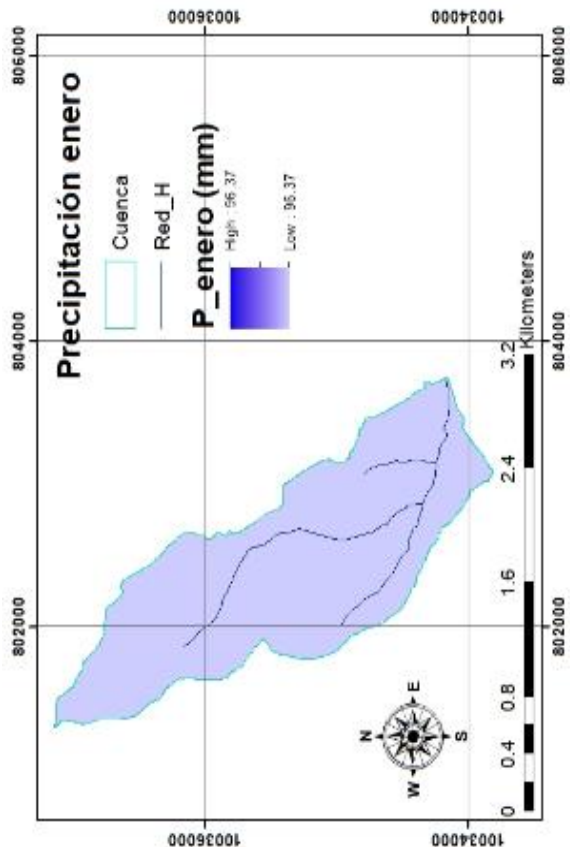
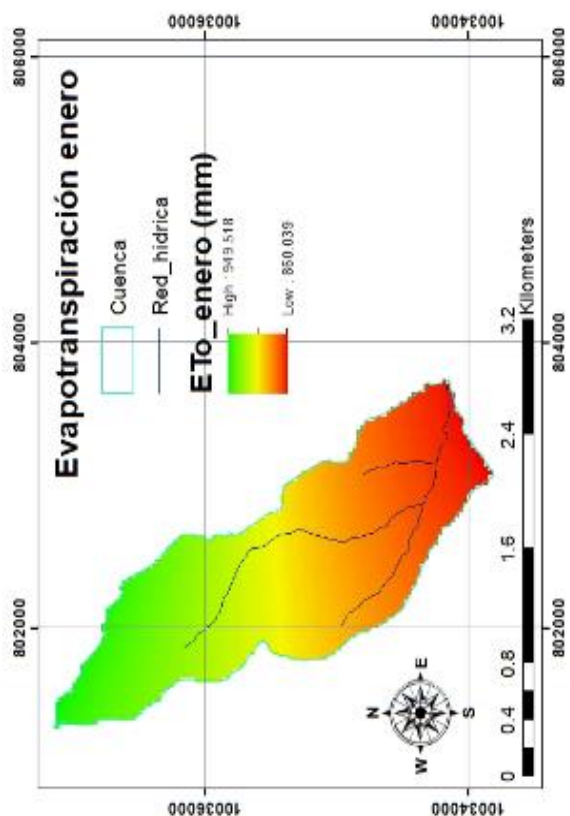
Elevación (msnm)




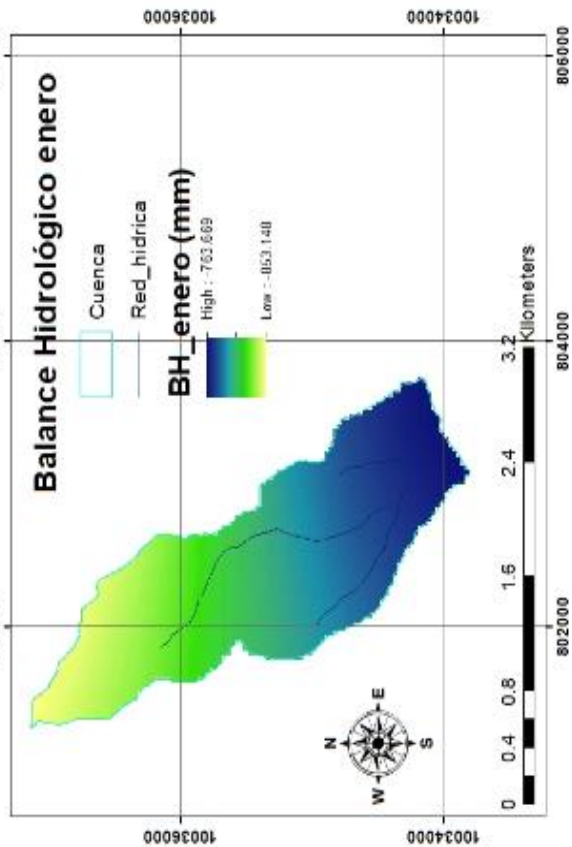
	<p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental</p>
<p>SITIOS DE MUESTREO</p>	
<p>Proyecto de Titulación: Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura</p>	
<p>Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S</p>	
<p>Elaborado por: Oscar J. Sandoval</p>	
<p>Escala temática: 1:20000</p>	<p>Fecha: Mayo 2020</p>
<p>Fuente Cartografía Base: GAD Cotacachi</p>	<p>Nro. Mapa MAPA 4</p>

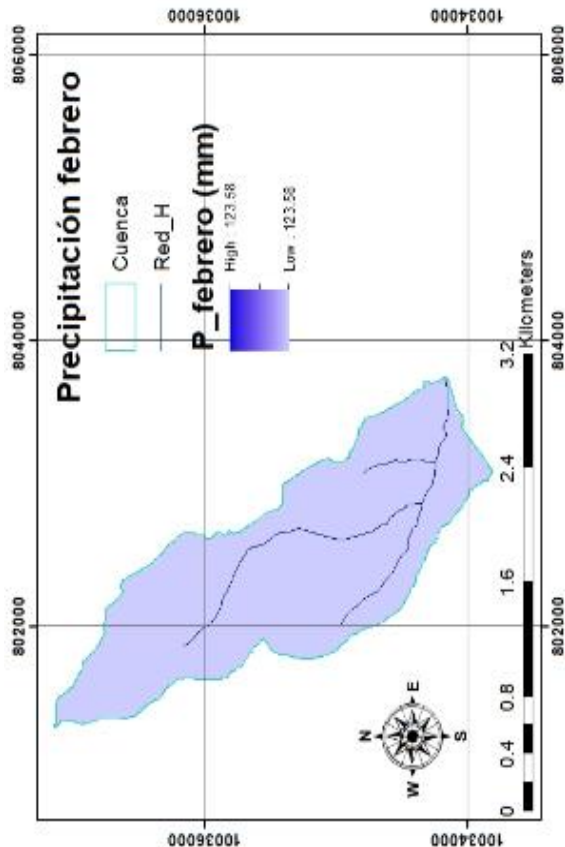
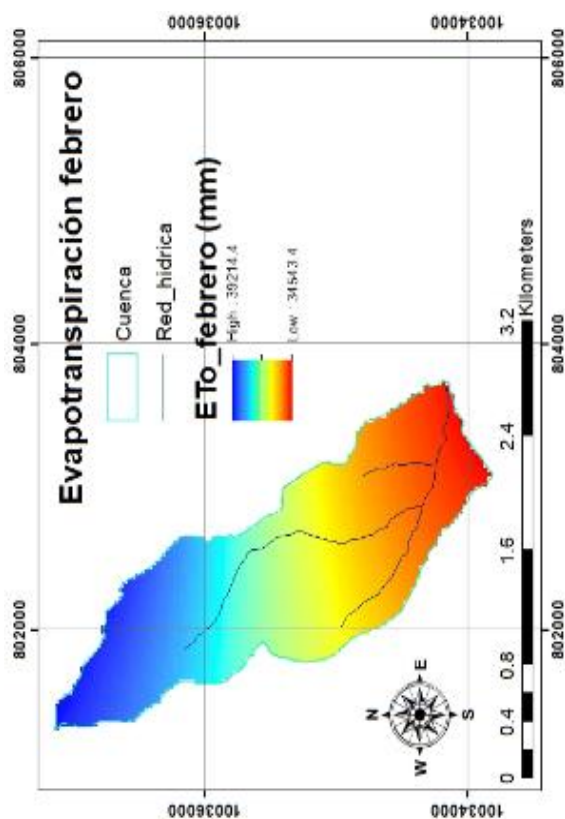



	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
	BALANCE HIDROLÓGICO ANUAL Proyecto de Titulación:
Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquessa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura	
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S	
Elaborado por: Oscar J. Sandoval	Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI	Nro. Mapa: MAPA 5

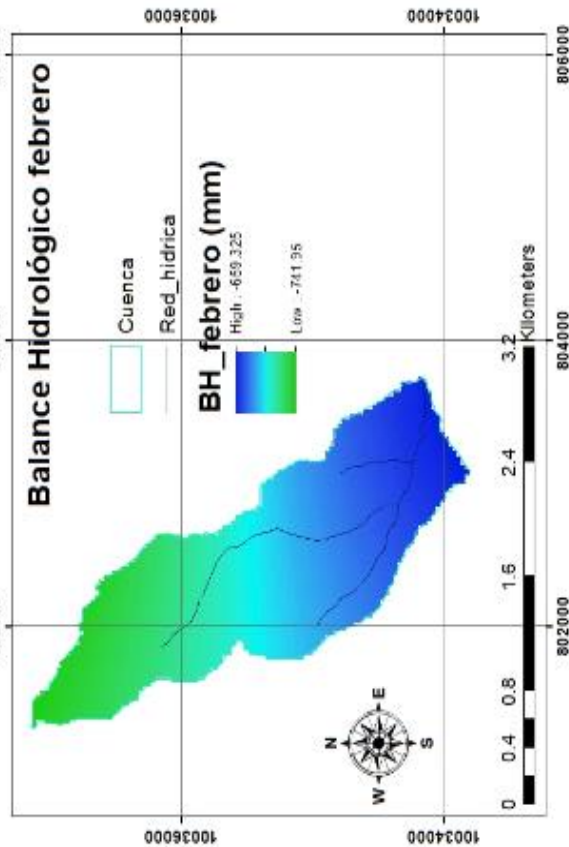


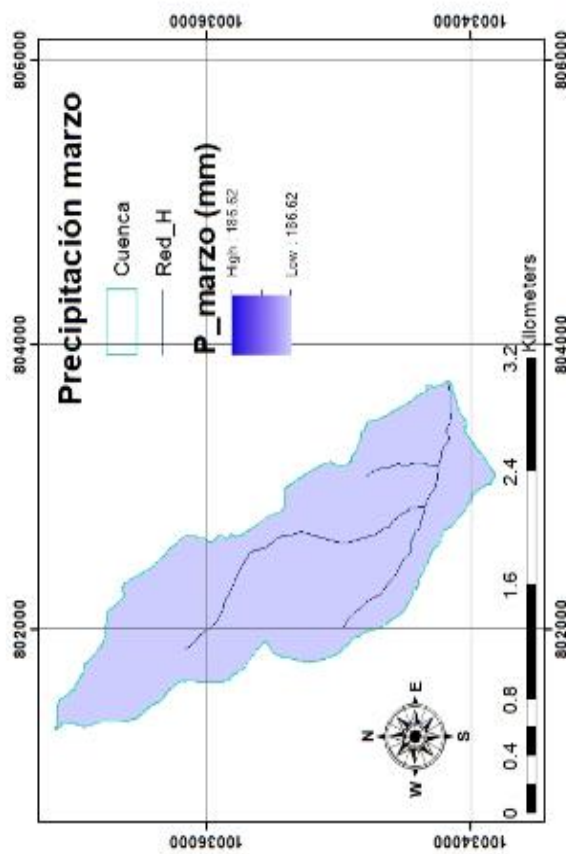
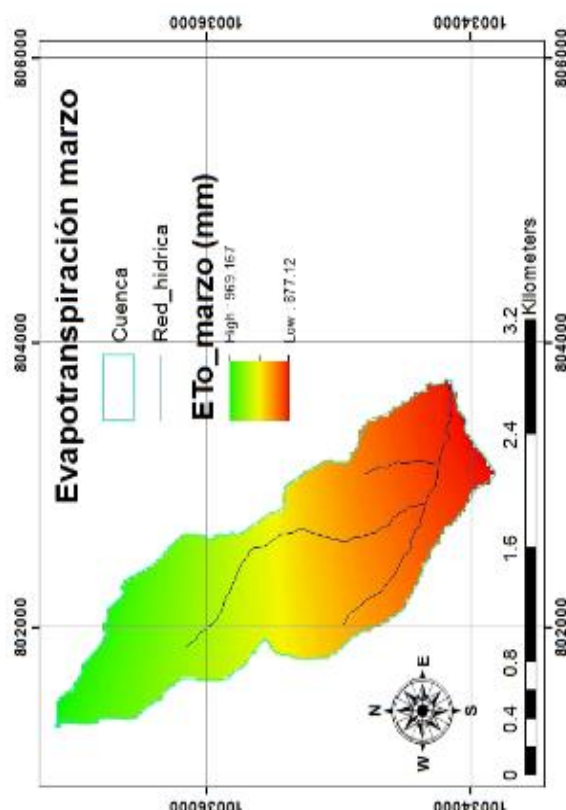
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO ENERO	
Proyecto de Titulación:		
Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección:		
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Escala temática: 1:30000		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa MAPA 6



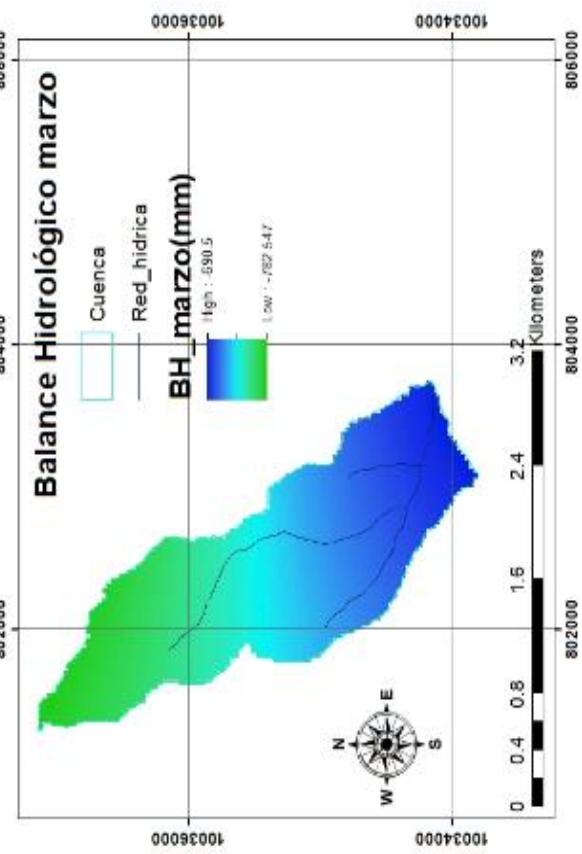


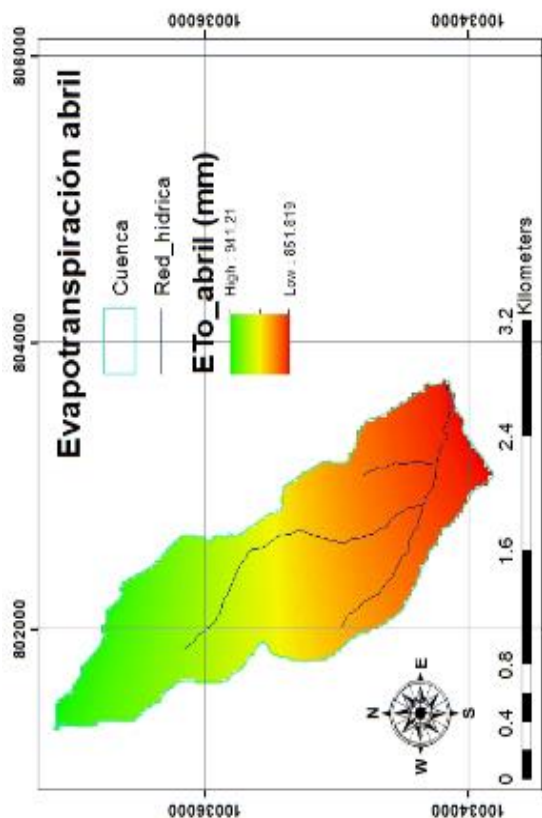
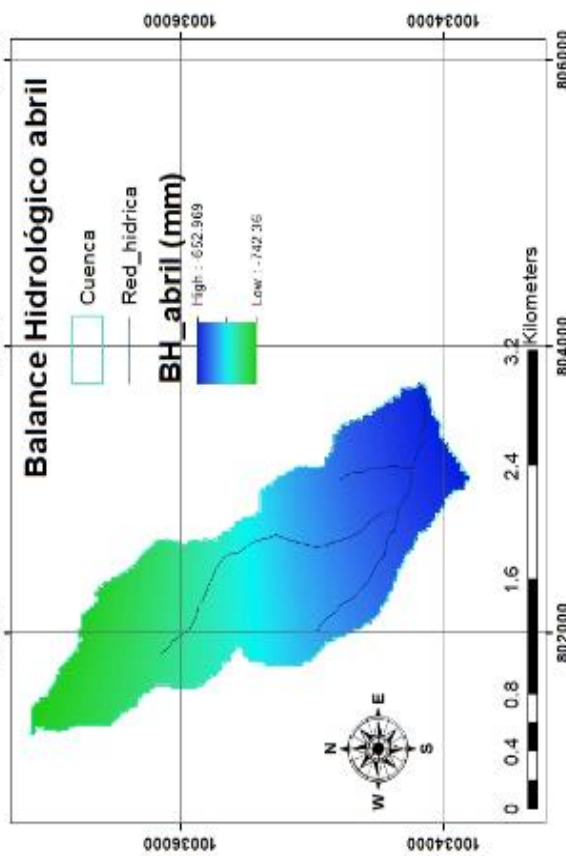
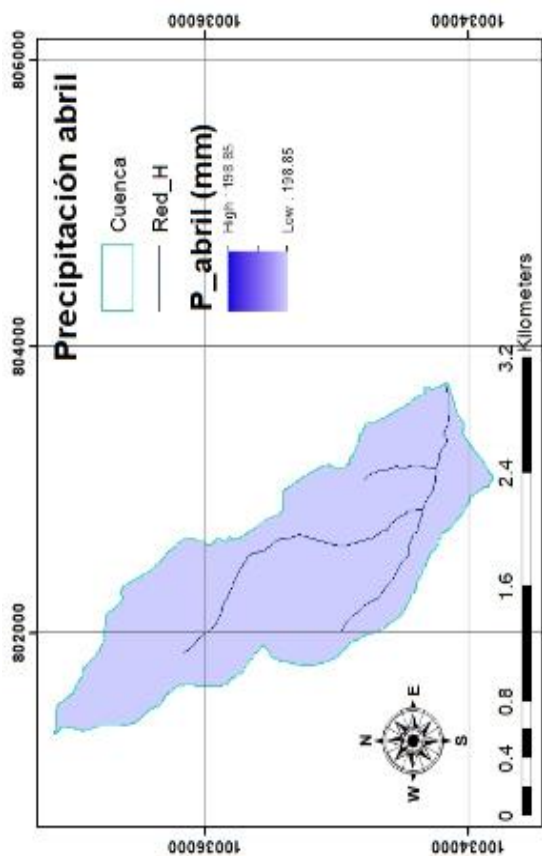
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
	BALANCE HIDROLÓGICO FEBRERO
Proyecto de Titulación: Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura	
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S	
Elaborado por: Oscar J. Sandoval	
Escala temática: 1:30000	Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI	Nro. Mapa MAPA 7




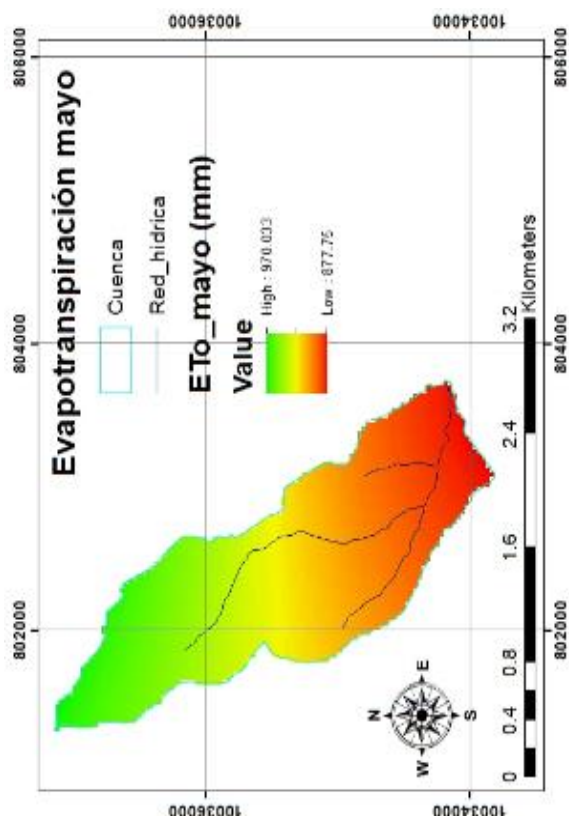
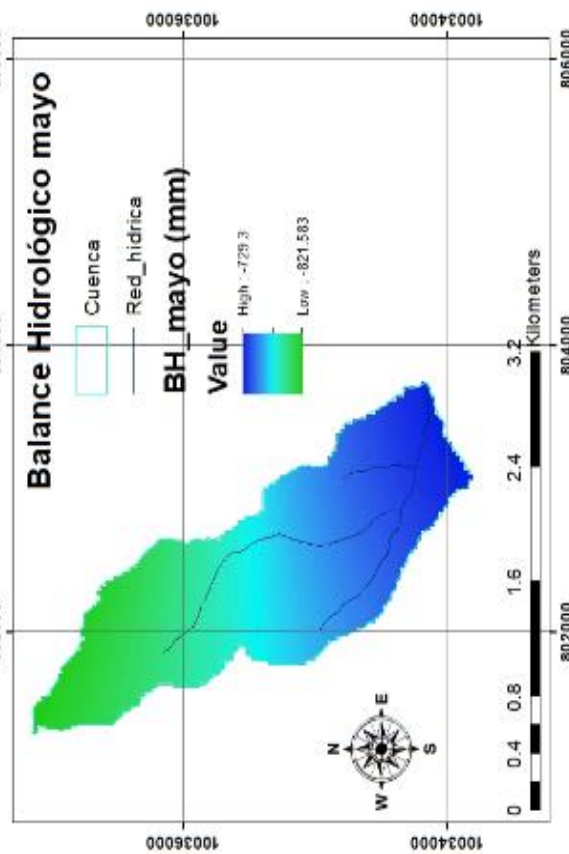
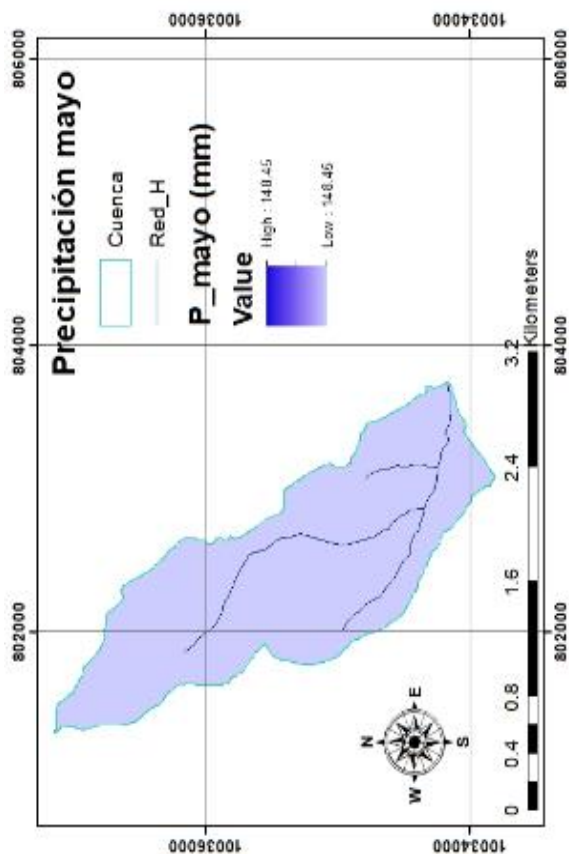


	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO MARZO Proyecto de Titulación:	
Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección:		
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Elaborado por: Oscar J. Sandoval		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa MAPA 8

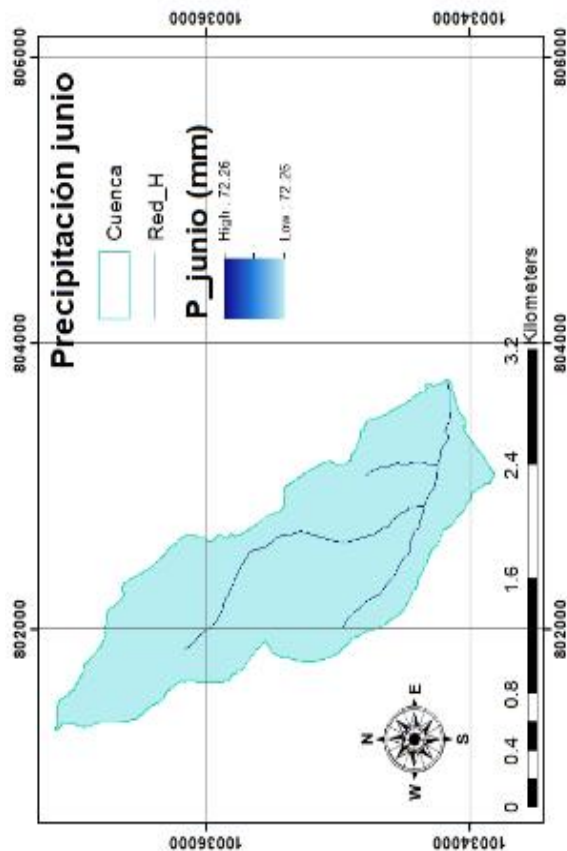
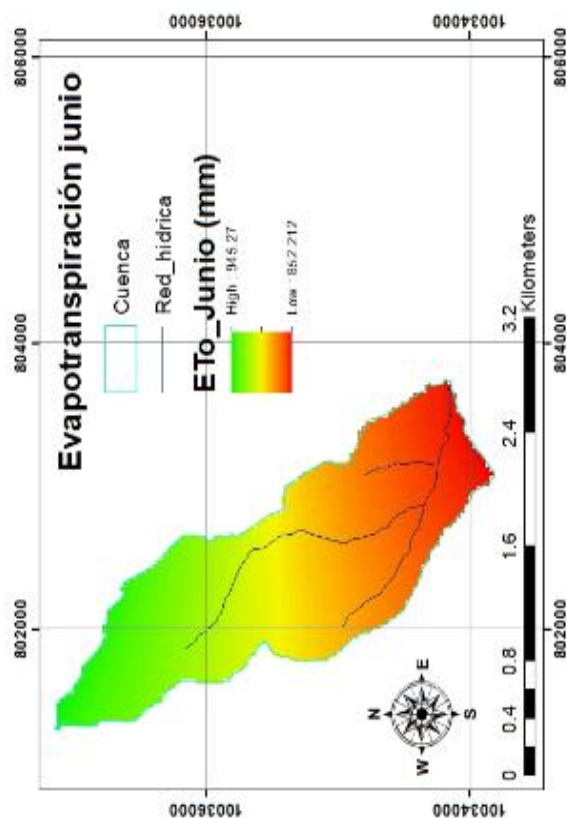





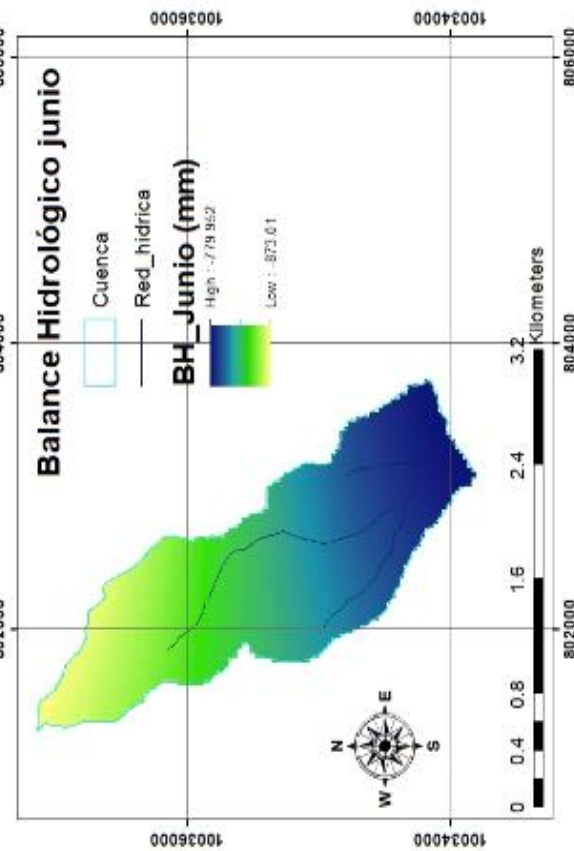
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
BALANCE HIDROLÓGICO ABRIL	
Proyecto de Titulación:	
Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura	
Proyección:	
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S	
Elaborado por: Oscar J. Sandoval	Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI	Nro. Mapa: MAPA 9

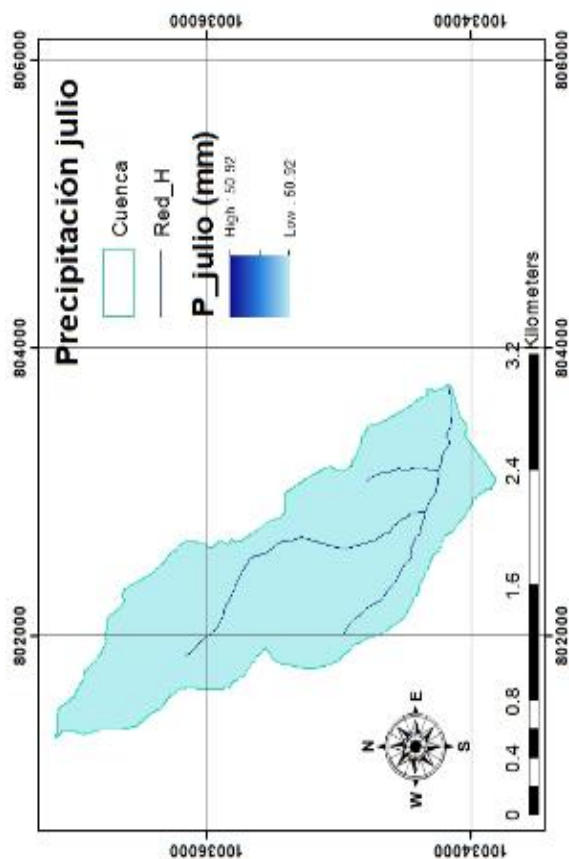
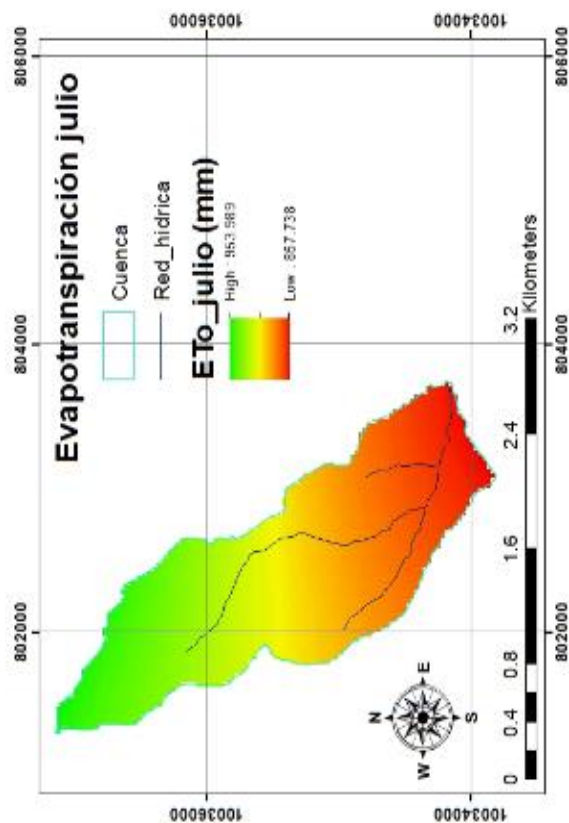



	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO MAYO Proyecto de Titulación:	
Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Elaborado por: Oscar J. Sandoval		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa MAPA 10

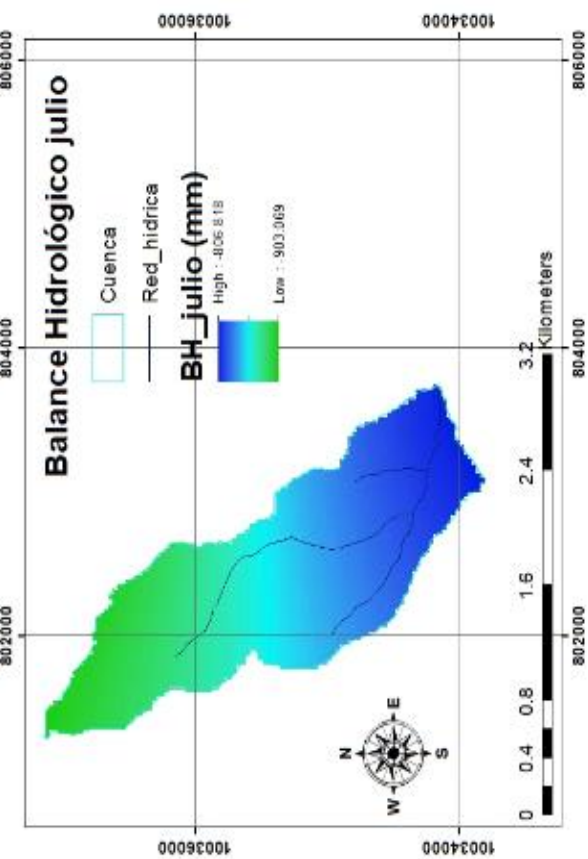


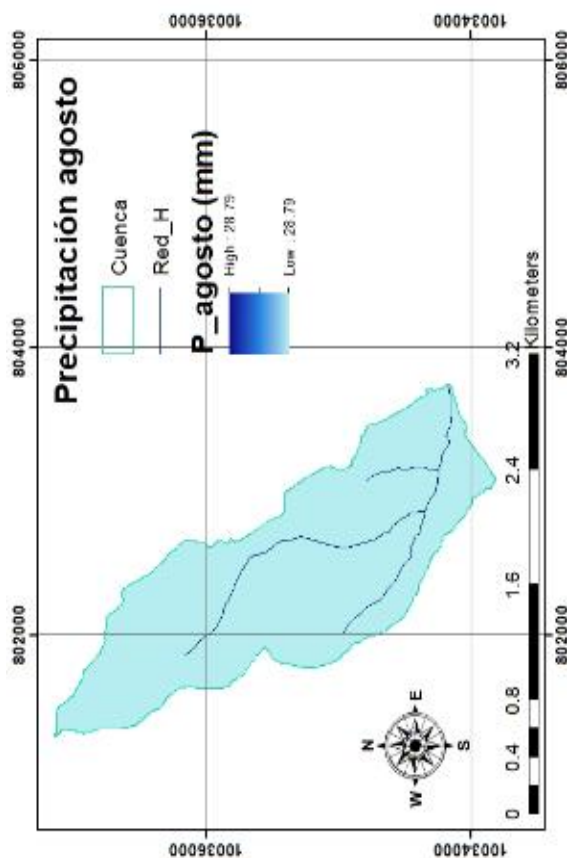
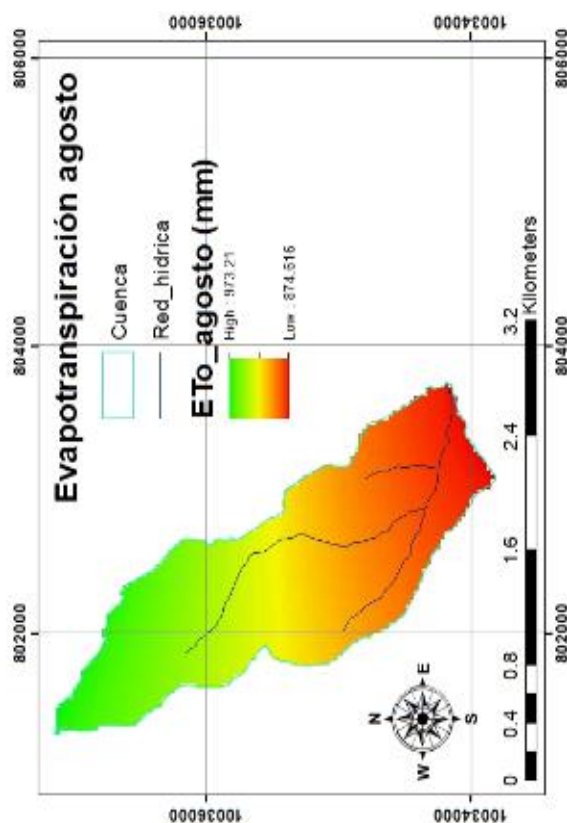
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO JUNIO Proyecto de Titulación:	
Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Elaborado por: Oscar J. Sandoval		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa: MAPA 11




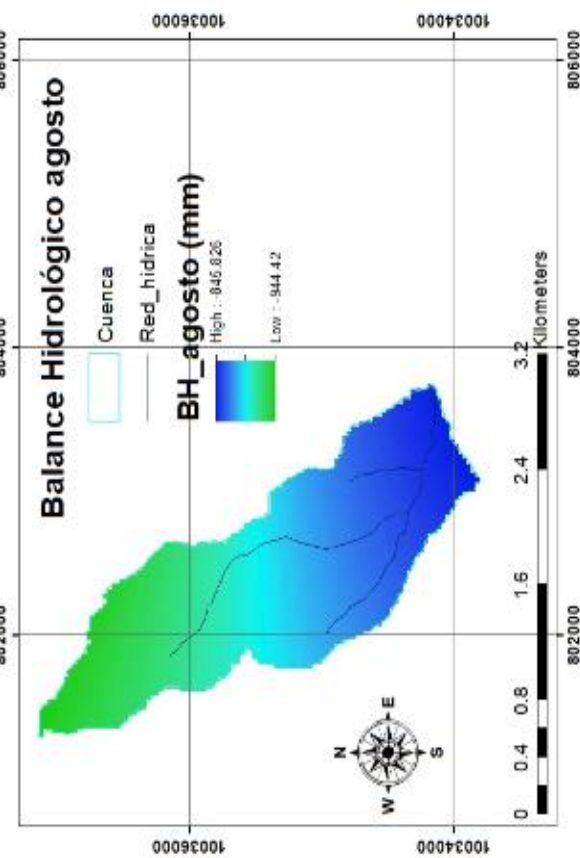


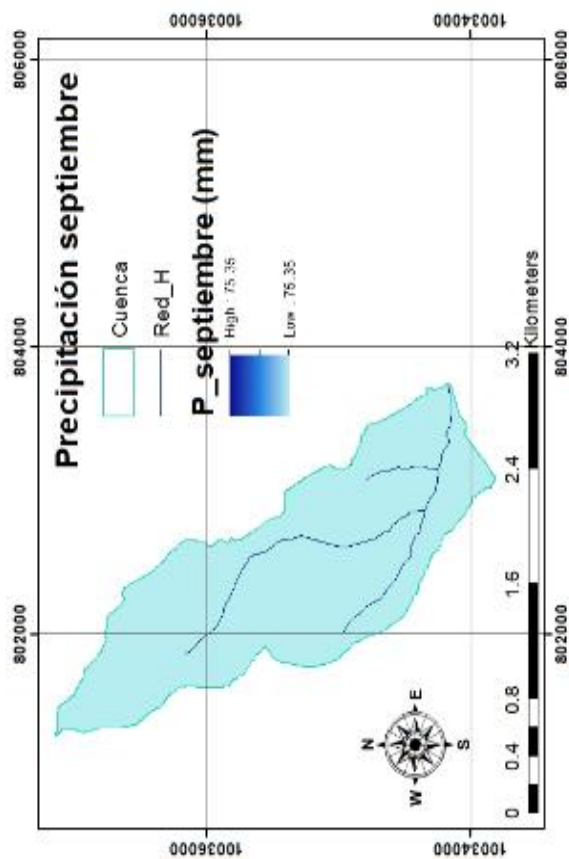
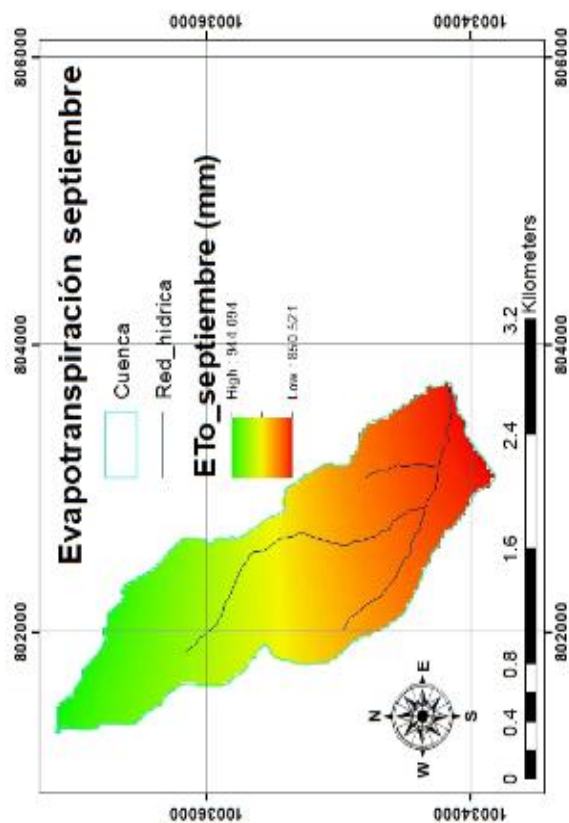
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO JULIO	
Proyecto de Titulación: Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Elaborado por: Oscar J. Sandoval		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa MAPA 12




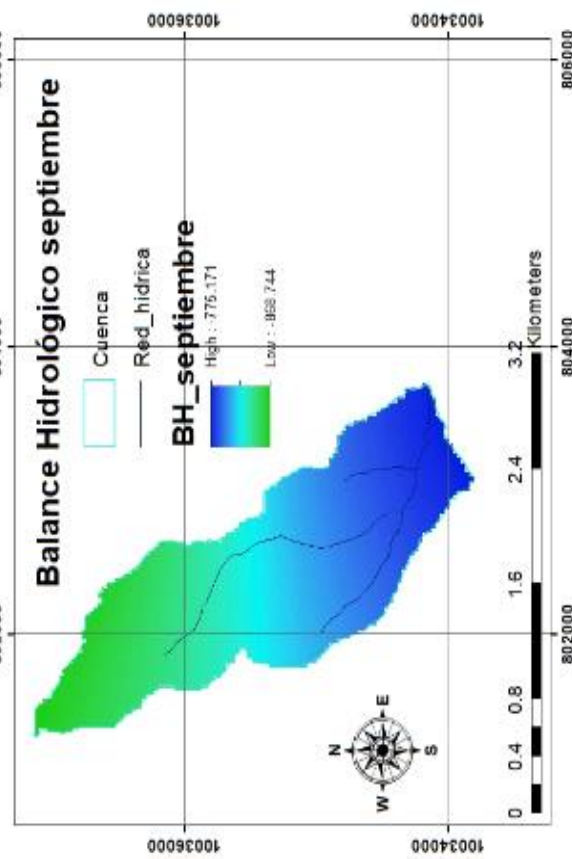


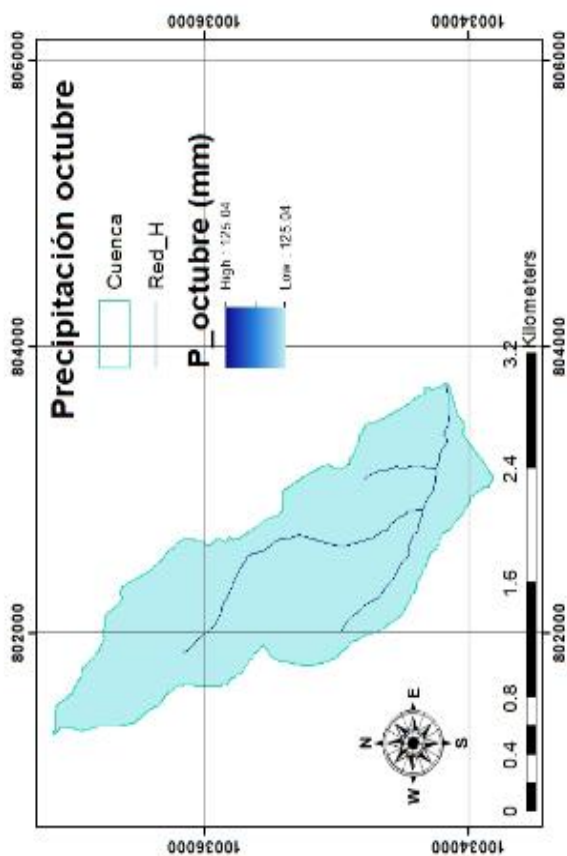
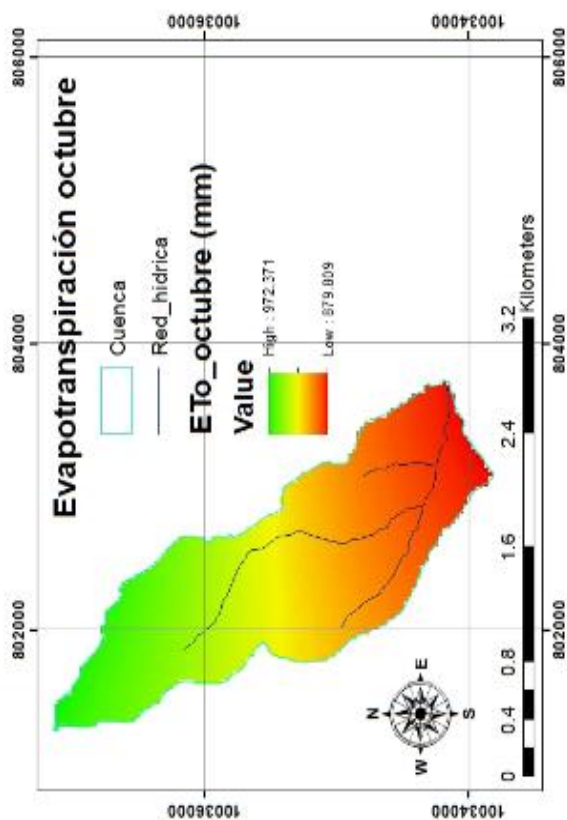
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO AGOSTO	
Proyecto de Titulación: Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Elaborado por: Oscar J. Sandoval		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa MAPA 13




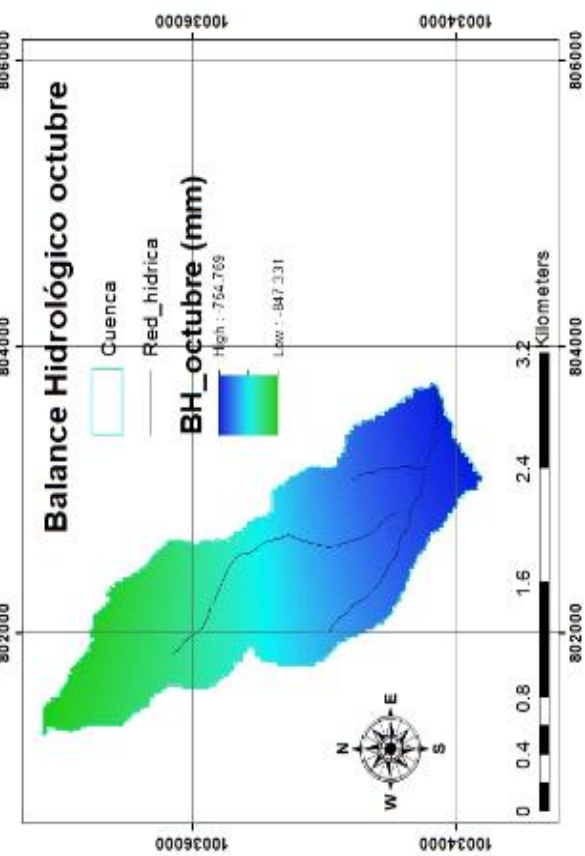


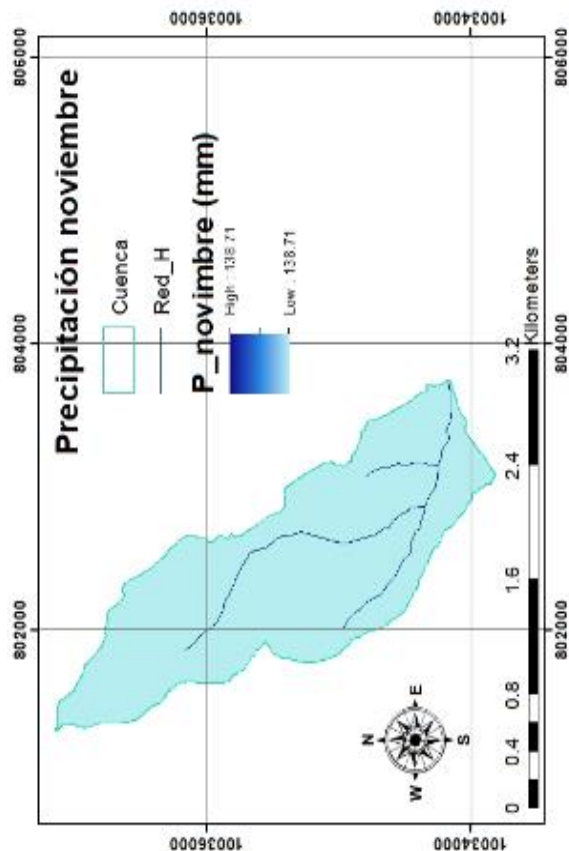
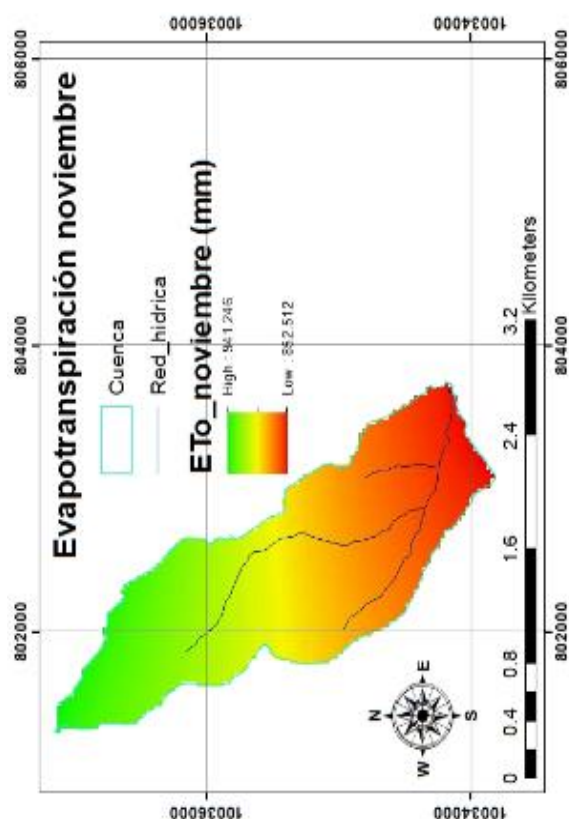
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO SEPTIEMBRE Proyecto de Titulación:	
Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Elaborado por: Oscar J. Sandoval		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa MAPA 14




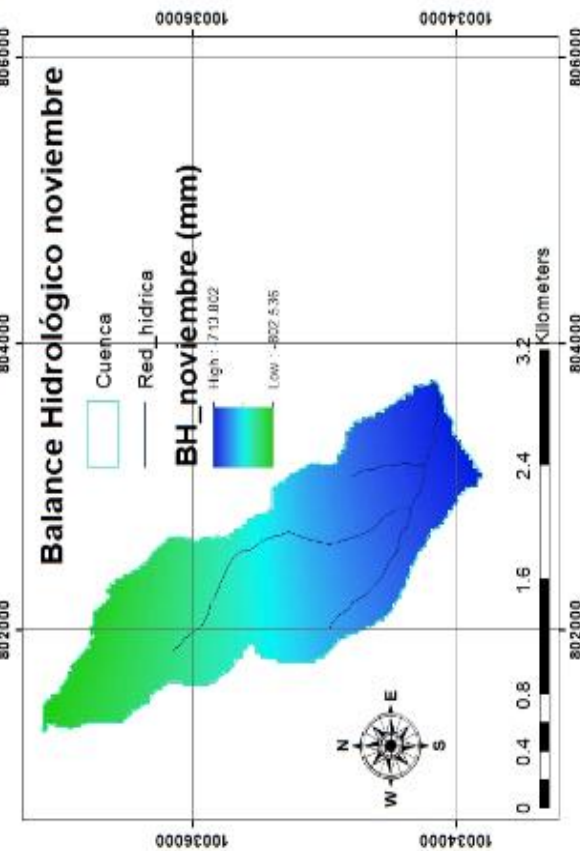


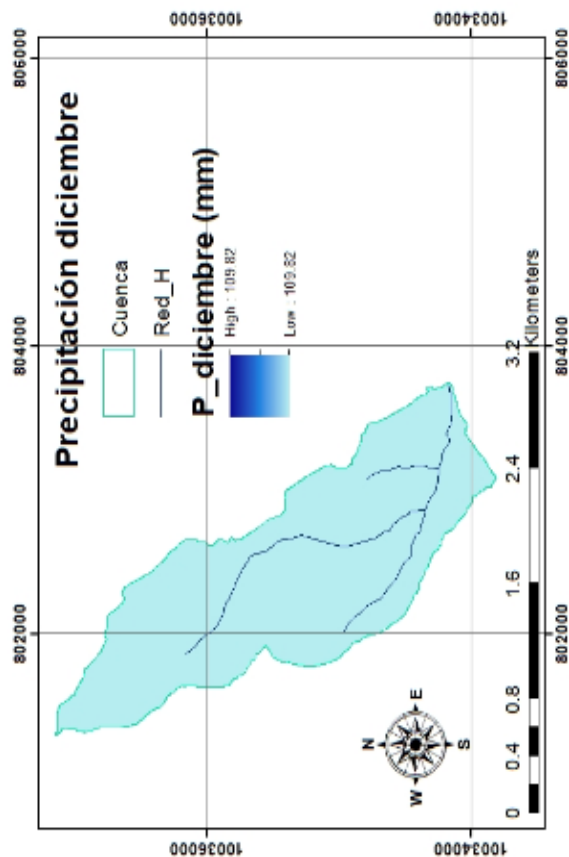
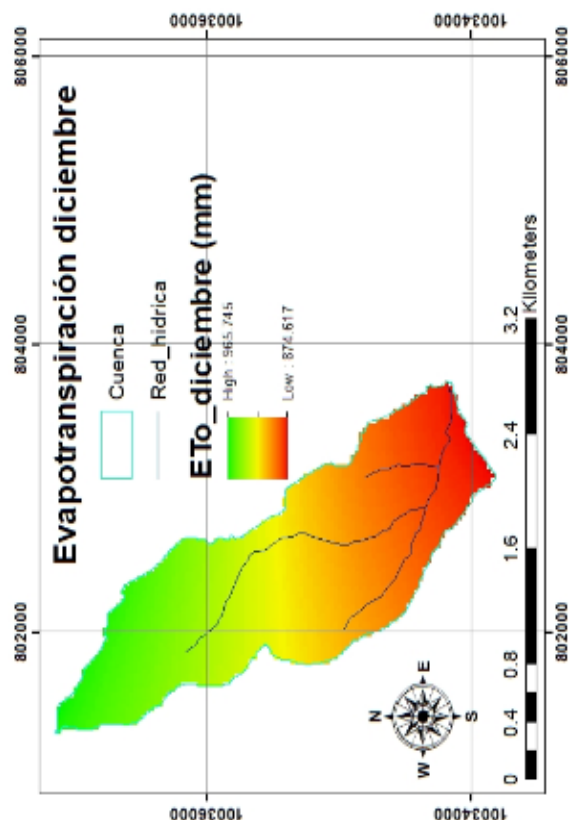
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
	BALANCE HIDROLÓGICO OCTUBRE
Proyecto de Titulación: Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura	
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S	
Elaborado por: Oscar J. Sandoval	
Escala temática: 1:30000	Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI	Nro. Mapa MAPA 15






	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO NOVIEMBRE	
Proyecto de Titulación: Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección: U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Elaborado por: Oscar J. Sandoval		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa MAPA 16





	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental	
	BALANCE HIDROLÓGICO DICIEMBRE Proyecto de Titulación:	
Estimación del balance hidrológico y evaluación de la calidad del agua en la cuenca "La Marquesa" cantón Cotacachi, provincia de Imbabura		
Proyección:		
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S		
Elaborado por: Oscar J. Sandoval		Fecha: Mayo 2020
Fuente Cartografía Base: INAMHI		Nro. Mapa MAPA 17

